

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

**DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**“CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL PROYECTO
CENTRAL HIDROELÉCTRICA PALMIRA CON TOMOGRAFÍA
SÍSMICA DE REFRACCIÓN Y PERFORACIONES
MECANICAS, UBICADO EN LA PROVINCIA DE PICHINCHA,
ECUADOR.”**

NOMBRE

ANDRÉS ALEJANDRO VELÁSQUEZ COBO

DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS MONTERO

QUITO, 2015

DEDICATORIA

Quisiera dedicar esta tesis a mi padre Bolívar Velásquez, por ser mi apoyo y motivación, tanto en mi vida en general como en mis estudios.

Sin ti este paso gigante no hubiera sido posible.

Gracias.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
TABLA DE CONTENIDO.....	iii
INDICE DE TABLAS.....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN EJECUTIVO	viii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I GENERALIDADES	3
1.1 Ubicación	3
1.2 Objetivos	3
1.3 Clima	4
1.4 Geología	5
1.4.1 Entorno Geológico General.....	5
1.4.2 Entorno Geológico Local	7
CAPITULO II INTRODUCCIÓN A MÉTODOS DE INVESTIGACION IN SITU.....	10
2.1 Modelo geológico básico y definitivo.....	10
2.2 Procedimiento para el modelo geomecánico	10
2.3 Métodos, procesos técnicos y aplicaciones.....	11
2.4 Propiedades de los materiales	12
2.4.1 Propiedades de los suelos y las rocas	12
2.5 Ensayos in situ.....	13
2.5.1 Ensayo SPT	13
2.5.2 Penetración dinámica con punta cónica (DPL, DPH Y DPSH).....	16
2.5.3 Ensayo Lugeon.....	16
2.5.4 Lefranc	17
2.6 Técnicas geofísicas.....	18
2.6.1 Introducción a la geofísica	18
2.6.2 Tomografía sísmica de refracción	19
2.7 Ensayos de identificación en laboratorio	22
2.7.1 Humedad natural (ASTM D 2216)	22
2.7.2 Granulometría (ASTM D 422-63)	23
2.7.3 Plasticidad de los suelos (ASTM D 4318)	23
2.7.4 Clasificación de los suelos	24
2.7.5 Densidad aparente (ASTM D 7263)	24

2.8	Ensayos para la determinación de la resistencia de un suelo en laboratorio.....	25
2.8.1	Ensayo corte directo (ASTM D 3080)	25
2.8.2	Ensayo triaxial (ASTM 2850 03a)	25
2.8.3	Compresión simple (ASTM D 2166).....	26
CAPITULO III TRABAJOS DE CAMPO EN EL PROYECTO....		28
3.1	Ubicación y número de líneas sísmicas, perforaciones y calicatas....	28
3.2	Metodología empleada	29
3.2.1	Sondeo mecánico a rotación con extracción continua de testigo	29
3.2.2	Calicata de reconocimiento	31
3.2.3	Tomografía Sísmica de refracción	33
CAPITULO IV ENSAYOS REALIZADOS.....		35
4.1	Ensayos en campo	35
4.2	Ensayo S.P.T	36
4.3	Ensayo de permeabilidad LEFRANK.....	37
4.4	Ensayos en laboratorio	41
CAPITULO IV ANALISIS DE RESULTADOS		42
5.1	Perfiles sísmicos margen derecho	42
5.2	Perfiles sísmicos margen izquierdo.....	44
5.3	Resultados S5-S4.....	45
5.4	Resultados C1-C2-C3 y S3-S2-S1	46
5.5	Unidades geotécnicas	48
5.6	Valores obtenidos por SPT, Lefrank, ensayos de laboratorio y Tomografía Sísmica de Refracción.....	53
5.6.1	Metodología de cálculo:	53
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES....		60
6.1	Conclusiones	60
6.2	Recomendaciones.....	64
BIBLIOGRAFÍA.....		66
ANEXOS		68
ANEXO I: PERFILES DE SONDEOS		69
ANEXO II: PERFILES DE CALICATAS		70
ANEXO III: PERFILES SISMICOS		71
ANEXO IV: ENSAYOS LEFRANC		72

ANEXO V: ENSAYOS DE LABORATORIO	73
ANEXO VI: IMPLANTACION DE TRABAJOS EN CAMPO EN MAPA TOPOGRÁFICO	74
ANEXO VII: MAPA GEOLÓGICO DEL ECUADOR	75
ANEXO VIII: FOTOGRAFICO	76

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Métodos, técnicas y resultados para fines geotécnicos	11
Tabla 2. Ubicación de trabajos en campo	29
Tabla 3. Grado de excavabilidad.....	32
Tabla 4. Grado de estabilidad	33
Tabla 5. Ensayos en campo.....	35
Tabla 6. Ensayos en los trabajos de campo.....	35
Tabla 7. Correlaciones del N70 para parámetros mecánicos	37
Tabla 8. Ensayos Lefrank	38
Tabla 9. Resumen de ensayos en laboratorio	41
Tabla 10. Resultados de los S5 y S4.....	45
Tabla 11. Resultados sondeos y calicatas 1,2 y 3	46
Tabla 12. Espesores de la UG-1.....	50
Tabla 14 Estimación de la relación de Poisson (Constante elástica que relaciona el estrechamiento o alargamiento perpendicular a la dirección de la fuerza aplicada).....	54
Tabla 15 Estimación de módulo de elasticidad (Parámetro que define el comportamiento elástico de un material, en dirección de la fuerza aplicada).....	54
Tabla 13. Tabla comparativa.....	57
Tabla 14. Tabla comparativa de compacidad obtenido por el Nspt y las velocidades P	58
Tabla 15. Tabla comparativa de permeabilidad y las velocidades P.....	59

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del proyecto, referido por Goggle Earth.....	3
Figura 2 Climograma Nanegal.....	4
Figura 3 Diagrama de Temperatura Nanegal.....	5
Figura 4 Figura de Temperatura Nanegal.....	5
Figura 5. Mapa Geológico del Ecuador-(Referirse a anexo 7)	7
Figura 6. Fotografía de la obra de captación en el río Alambi.....	8
Figura 7. Fotografía margen izquierdo del río Alambí.	8
Figura 8. Fotografía margen derecha del río Alambi.....	9
Figura 9. Procedimiento para un modelo geotécnico.....	11
Figura 10. Detalle de la cuchara partida según ASTM D-1586.....	13
Figura 11. Detalle de la de los tipos de martillos.....	14
Figura 12. Correcciones para determinar el N60.....	15
Figura 13. Ripabilidad basada en la maquina D-10R	19
Figura 14. Propagación de ondas P.....	20
Figura 15. Localización de trabajos en campo.....	28
Figura 16. Sondeo mecánico a rotación percusión.....	30
Figura 17. Calicata de reconocimiento	31
Figura 18. Propagación de ondas P.....	34
Figura 19. Imagen ilustrativa del proceso SPT	36
Figura 20. Imagen ilustrativa del ensayo Lefrank.....	40
Figura 21. Ensayo Lefrank en campo	41
Figura 22. Unidades geotécnicas en planta.....	48
Figura 23. Unidades geotécnicas en perfil	49
Figura 24 Módulo de Rigidez	55
Figura 25. Materiales identificados en las prospecciones directas e indirectas	62
Figura 26. Imagen de estratos no identificados.....	64

RESUMEN EJECUTIVO

Caracterizar los suelos de la Central Hidroeléctrica Palmira con tomografía sísmica de refracción y correlación con perforaciones, pozos abiertos y afloramientos antrópicos ubicado en la parroquia de Nanegal en la zona noroccidental del Distrito Metropolitano de Quito, provincia de Pichincha, Ecuador, con llevó el analizar la zona de estudio, para implementación de los trabajos de campo y ensayos de laboratorio. La utilización del método de exploración indirecto, como es la tomografía sísmica de refracción detectó tres estratos diferenciados por la propagación de velocidades, ondas P en m/s. Los estratos que se puede distinguir están sujetos a interpretación, que únicamente lograron ser identificados, con métodos directos como las perforaciones, pozos abiertos y afloramientos, en los cuales se identificó cinco diferentes estratos, diferenciados por orígenes geológicos, caracterización física y mecánica.

Las unidades geotécnicas determinadas por los métodos directos y que aseveran la fiabilidad de la tomografía sísmica de refracción con sus respectivas limitaciones del método es una capa vegetal o rellenos antrópicos, propuesta como UG-1. Suelos limo arenosos, arenas limosas con ciertas intercalaciones de arena, ubicadas en ladera en la margen derecha del río, nombrada como UG-4. Coluviales de matriz limo arenosos y limos de alta plasticidad, ubicadas en ladera, en la margen izquierda del río, llamada como UG-3. Subyacente a la UG-4 y la UG-3 se encuentra un estrato conocido como terrazas, ubicada tanto en la margen derecha como izquierda, nombrada como UG-5. Finalmente en el lecho del río, podemos identificar aluviales de menor a mayor consolidación a muro, llamadas UG-2.

La tomografía sísmica de refracción fue capaz de distinguir capas de marcadas potencias, entre suelos y coluviales, y profundidades de mayor consolidación, pero es limitada en el distinguir estratos de mayor a menor potencia o de capas intercaladas de suelos, como limos, arcillas o arenas. Sin embargo es de gran utilidad para tener una idea general de la zona de estudio, que colabora con los métodos indirectos, que por su alto valor no siempre se puede llegar a un número óptimo que satisfaga las necesidades del proyecto a ejecutar.

INTRODUCCIÓN

La geotecnia se caracteriza por ser una de las ramas más importantes de la ingeniería civil debido a que cualquier tipo de obra como edificaciones, vías, instalaciones sanitarias, entre otras, necesitan de un apoyo fundamental que es el suelo, y de su propia estabilidad en caso de taludes o terraplenes. Por estas y otras razones, se considera a la geotecnia como la solución a un fin ingenieril, en donde propiedades mecánicas y físicas del suelo son estudiadas, conjuntamente con la geología, para conocer la procedencia y el comportamiento histórico del mismo.

Los estudios del suelo con métodos directos tales como sondeos, calicatas y otros, suelen tener costos muy elevados, por esta razón se han desarrollado métodos indirectos como la geofísica, que complementan a los métodos directos de manera significativa y reducen los costos.

Dicho lo anterior el proyecto Central Hidroeléctrica Palmira Fase 1, comprende la construcción de: un azud, dos muros de ala y el canal de conducción. Debido a la importancia de la obra es imprescindible de un estudio geotécnico para determinar la profundidad y sugerencia de cimentación del azud, capacidad admisible del suelo y estabilidad de los taludes.

Fructificando del estudio geotécnico del proyecto Central Hidroeléctrica Palmira Fase 1, se establece el objetivo de esta tesis, que es el buen manejo y análisis de resultados

de la tomografía sísmica de refracción como método indirecto para verificar con sondeos, calicatas y afloramientos antrópicos.

CAPÍTULO I GENERALIDADES

1.1 Ubicación

El Proyecto Hidroeléctrico Palmira está ubicado en la hacienda Palmira, dentro de la parroquia de Nanegal, cantón Quito, en la zona noroccidental de la provincia de Pichincha, Ecuador. El proyecto, se encuentra en el cauce del río Alambi en las coordenadas 758000 Este; 17367 Norte a una elevación aproximada de 1.000 msnm. (Pichincha, 2012)



Figura 1. Ubicación del proyecto, referido por Goggle Earth
Fuente: Google Earth, 2015

1.2 Objetivos

- Caracterizar los suelos de la Central Hidroeléctrica Palmira con tomografía sísmica de refracción y perforaciones mecánicas.

- Realizar un análisis comparativo de los datos obtenidos entre los métodos de prospección indirecto y los métodos directos empleados.
- Verificar la validez en términos cualitativos, del método de prospección tomografía sísmica de refracción, en esta obra en específico.
- Definir la estratigrafía del lugar delimitado por el área del estudio.

1.3 Clima

La parroquia de Nanegalito abarca 650 hectáreas y está formada de pendientes relevantes, con niveles desde 2900 hasta 1960 msnm, por lo que genera diferentes micro climas. Esto da razón a la existencia de 260 especies de orquídeas, donde el 3.5% son únicas de la zona. De las 170 especies de aves podemos destacar el Tucán andino, Samarritos y el gallito de la Peña, variedad de anfibios, reptiles y mamíferos como venados, oso de anteojos, guatusas, entre otros.

El clima a nivel del proyecto Hidroeléctrica Palmira, caracterizado principalmente por su entorno de bosques nublados y variedad de micro climas, que dan lugar a una variedad de especies en fauna y flora, se caracteriza como clima tropical, megatérmico y húmedo. Tiene un periodo lluvioso de Enero hasta Mayo y el periodo seco de Julio a Septiembre, siendo el más seco Agosto y el más lluvioso Marzo, su lluvia media anual de 2200 a 2400 mm/año. Sus temperaturas van desde de 19.8 °C a 20,7°C, con un promedio de 20.2°C, siendo Marzo caliente y Noviembre el más frío. Y humedad relativa anual de 90%. (CLIMATE-DATA.ORG)

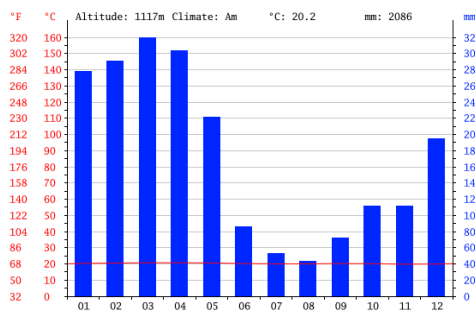


Figura 2 Climograma Nanegal

Fuente: CLIMATE-DATA.ORG, 2015

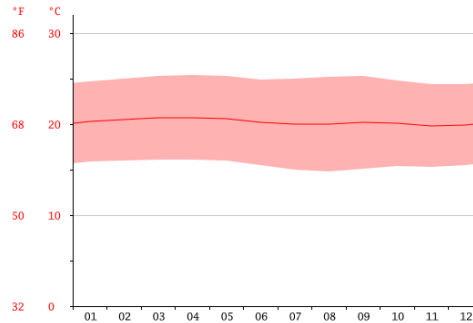


Figura 3 Diagrama de Temperatura Nanegal
Fuente: CLIMATE-DATA.ORG, 2015

month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mm	278	291	319	304	221	86	53	43	72	112	112	195
°C	20.3	20.5	20.7	20.7	20.6	20.2	20.0	20.0	20.2	20.1	19.8	19.9
°C (min)	15.9	16.0	16.1	16.1	16.0	15.5	15.0	14.8	15.1	15.4	15.3	15.5
°C (max)	24.7	25.0	25.3	25.4	25.3	24.9	25.0	25.2	25.3	24.8	24.4	24.4
°F	68.5	68.9	69.3	69.3	69.1	68.4	68.0	68.0	68.4	68.2	67.6	67.8
°F (min)	60.6	60.8	61.0	61.0	60.8	59.9	59.0	58.6	59.2	59.7	59.5	59.9
°F (max)	76.5	77.0	77.5	77.7	77.5	76.8	77.0	77.4	77.5	76.6	75.9	75.9

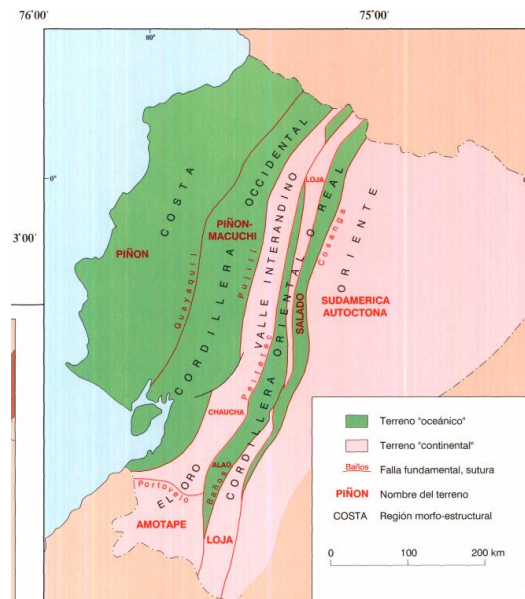
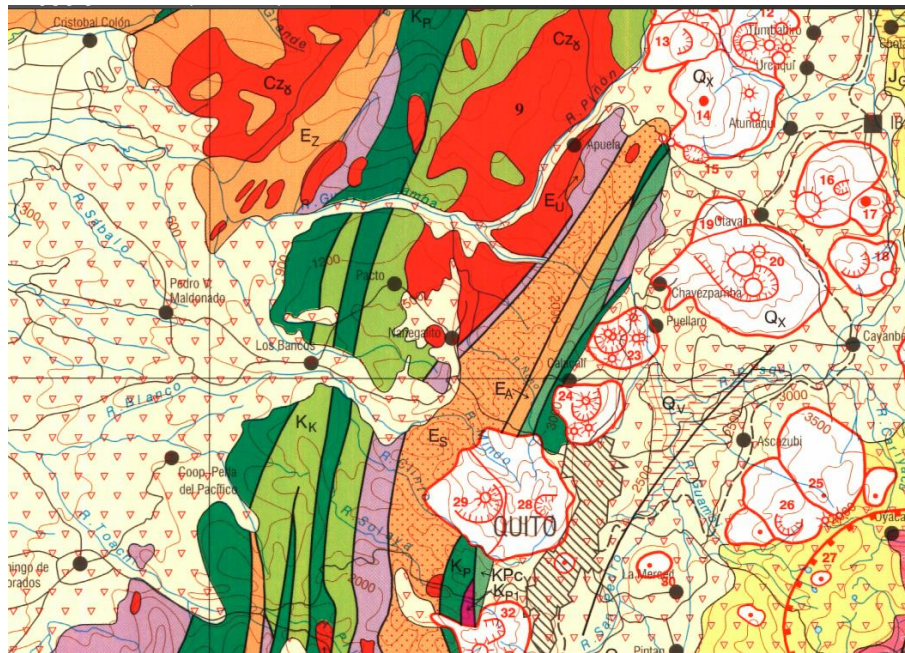
Figura 4 Figura de Temperatura Nanegal
Fuente: CLIMATE-DATA.ORG, 2015

1.4 Geología

1.4.1 Entorno Geológico General

La zona en estudio, se encuentra ubicada en la cordillera occidental o arco Macuchi en donde aflora el batolito Apuela Nanegal y los depósitos fluviales cuaternarios (ECURSEVI, 2014).

En la siguiente figura 5 se muestra un detalle de la geología de la zona tomada del mapa geológico 1:1.000.000 y su leyenda correspondiente.





La Figura 6 muestra la obra de captación del proyecto hidroeléctrico Palmira, que se sitúa en el valle que forma el río Alambi sobre aluviales indiferenciadas, de edad Cuaternario–Holoceno. Formado a techo por cantos sueltos decimétricos a métricos principalmente de Basalto andesítico y en menor proporción de Granodiorita poco alterados, de matriz arenosa o arena limosa de mayor compacidad a muro, las cuales se han depositado sobre terrazas más antiguas de material aluvial algo cementado (Gravas arenosas) pertenecientes al pleistoceno. Su potencia es desconocida y tienen como basamento al batolito de Apuela – Nanegal (granodiorítico) que al formar parte del arco Macuchi se desarrolló en el eoceno medio, el cual aflora en diferentes sitios y laderas río abajo de la obra (ECURSEVI, 2014).



Figura 6. Fotografía de la obra de captación en el río Alambi.
Fuente: ANDRÉS ALEJANDRO VELÁSQUEZ COBO, 2015

La Figura 7 muestra la margen izquierda del río, a la altura de las obras de captación. El relieve muestra un escarpe, en donde afloran materiales aluviales algo cementados definidos como terrazas aluviales antiguas, sobre las cuales se han depositado dispersamente coluviales de matriz limo arenosa. Sobre estos estratos se observa vegetación desarrollada, misma que previene la erosión y de esta manera contribuye a la estabilidad de la ladera. (ECURSEVI, 2014).



Figura 7. Fotografía margen izquierdo del río Alambi.
Fuente: ANDRÉS ALEJANDRO VELÁSQUEZ COBO, 2015

La Figura 8 muestra la margen derecha donde se encuentran escarpes menores y afloran suelos conformados por arenas con algo de limo. Aparentemente son depósitos de ladera provenientes de la transportación de los suelos residuales, que se forman pendiente arriba como producto de la meteorización del Batolito de Apuela – Nanegal. Como también pudieran estar relacionados con depósitos tipo lahar correspondientes a algún pulso volcánico relativamente moderno. Subyacen a estos suelos, terrazas aluviales del pleistoceno (ECURSEVI, 2014).



Figura 8. Fotografía margen derecha del río Alambí.
Fuente: ANDRÉS ALEJANDRO VELÁSQUEZ COBO, 2015

CAPITULO II INTRODUCCIÓN A MÉTODOS DE INVESTIGACION IN SITU.

2.1 Modelo geológico básico y definitivo

El objetivo de la geología es caracterizar el suelo para pronosticar un comportamiento. Para ello es necesario empezar por un modelo geológico básico y llegar a un modelo geológico definitivo. Esto con el objetivo de definir los elementos geológicos principales e importantes y preceder un comportamiento espacial y en el tiempo para el estudio propuesto.

- Modelo geológico básico: se recauda información de mapas geológicos, informes previos, fotointerpretación y visitas de reconocimiento (Vallejo, 2012).
- Modelo geológico definitivo: se enfoca en el proyecto y su alcance. En la mayoría de casos esto incluye cartografía geológica detallada, fotogeología, geofísica, perforaciones mecánicas y estudios proyectados ha análisis estructural (Vallejo, 2012).

Finalmente los ensayos in situ para caracterizar el subsuelo tanto mecánicamente, como físicamente, tienen como fin el poder crear el modelo geomecánico, no solo de los materiales, sino de posibles discontinuidades.

2.2 Procedimiento para el modelo geomecánico

En función de las propiedades físicas y mecánicas del suelo se establece un modelo geotécnico que cumple con un proceso sencillo, mostrado en la figura 9:

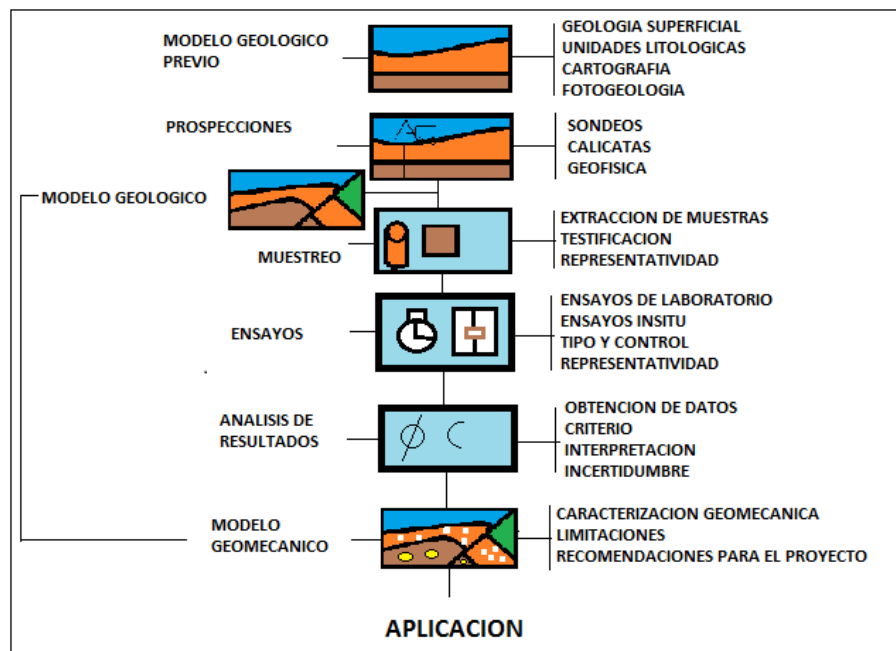


Figura 9. Procedimiento para un modelo geotécnico.
Fuente: ANDRÉS ALEJANDRO VELÁSQUEZ COBO, 2015

2.3 Métodos, procesos técnicos y aplicaciones

La Tabla 1 muestra un resumen de los diferentes métodos que existen para obtener resultados con fines geotécnicos.

Tabla 1. Métodos, técnicas y resultados para fines geotécnicos

MÉTODOS	TÉCNICAS	RESULTADOS
Sondeo(PERFORACION)	<ul style="list-style-type: none"> • Perforación con agua • Barrena helicoidal • Rotación • Percusión • Métodos mixtos 	<ul style="list-style-type: none"> • Litología • Discontinuidades • Estructura • Muestras • Ensayos
Excavaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Zanja • Pozos • Galerías 	<ul style="list-style-type: none"> • Litología • Discontinuidades • Estructura • Muestras • Ensayos
Muestreo	<ul style="list-style-type: none"> • Alterada • Inalterada • Testigos de roca • Doble y triple tubo • Extracción partida • Shelby 	<ul style="list-style-type: none"> • Muestra

	<ul style="list-style-type: none"> • Bloque Mohr 	
Testificación geotécnica	<ol style="list-style-type: none"> 1. Descripción de: <ul style="list-style-type: none"> • Muestra • Sondeos • Testigos de roca • Excavación 2. Clasificación: <ul style="list-style-type: none"> • Roca • Suelo 3. Orientación <ul style="list-style-type: none"> • Testigos • Discontinuidad 	
Ensayos In Situ	<ol style="list-style-type: none"> 1. Humedad 2. Clasificación: <ul style="list-style-type: none"> • Dureza Schmidt • Carga puntual 3. Resistencia: <ul style="list-style-type: none"> • Penetro Estático y Dinámico • SPT 4. Deformación: <ul style="list-style-type: none"> • Carga de placa 5. Permeabilidad: <ul style="list-style-type: none"> • Lefranc 	<ul style="list-style-type: none"> • Resultados
Geofísica de superficie	<ul style="list-style-type: none"> • Sísmica de refracción • Ultrasonido • Eléctrico de Resistividad • Georadar • Gravimetría 	<ul style="list-style-type: none"> • Espesor de estratos • Velocidad de ondas • Ripabilidad • Fracturas • Resistividad eléctrica • Niveles Freáticos
Geofísica de Sondeos	<ul style="list-style-type: none"> • Testificación Eléctrica • Testificación Sónica • Cross-Hole y Down Hole • Radiometría • Caliper • Buzómetros • Térmica • Gases 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistividad • Litología • Correlación con densidad. • Porosidad • Huecos y Facturas • Temperatura • Gases centrado en metano.

Fuente: ANDRÉS ALEJANDRO VELÁSQUEZ COBO, 2015

2.4 Propiedades de los materiales

2.4.1 Propiedades de los suelos y las rocas

Suelos: Partículas cohesivas o granulares de fácil disgregación desarrolladas por la erosión y alteración de rocas, que pueden ser transportadas o sedimentadas (Vallejo, 2012).

Roca: Material rocoso sin discontinuidades es la matriz rocosa mientras que el macizo rocoso es el conjunto de matriz rocosa, discontinuidades, incluyendo el agua y el suelo (Vallejo, 2012).

2.5 Ensayos in situ

2.5.1 Ensayo SPT

El ensayo SPT, Standard Penetration Test, fue desarrollado en el año 1920 y mejorado por Terzaghi y Peck en 1948. Ahora el ensayo es estandarizado por la norma ASTM D-1586 (Plaza, 2012) (BRAJA M., 2007).

El ensayo consiste en penetrar a golpes la cuchara partida, que es un toma muestra de 45 cm, con un diámetro de 45 a 200 mm y ayudado por una varilla enroscada en un extremo para llegar a la profundidad deseada. La pesa utilizada para penetrar la cuchara partida tiene 140 lb y se deja caer libremente a 76 cm. Se anota los golpes cada 15cm en una totalidad de 45 cm y se toman las últimas dos tandas.

En la figura 10 se muestra el detalle de la cuchara partida.

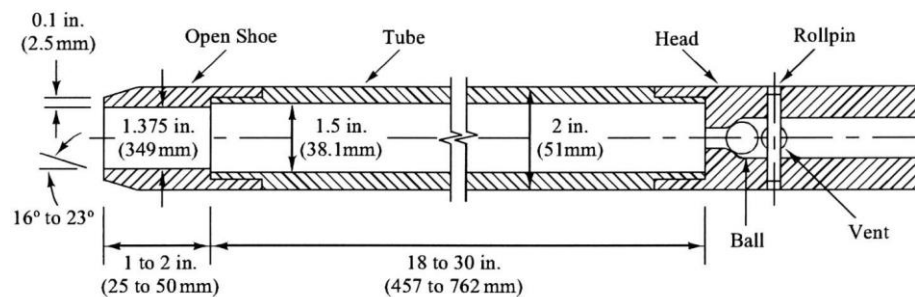


Figura 10. Detalle de la cuchara partida según ASTM D-1586.

Fuente: PLAZA, 2012

Si en 15 cm los números de golpes son mayores de 50 o en el caso de que la cuchara no avance después de 10 golpes se considera rechazo. La variación del SPT dependerá de factores como el diámetro del pozo, profundidad del ensayo, si existe revestimiento o no, limpieza del sondeo, el tiempo en el que el sondeo este lleno de agua antes del

ensayo, altura de caída libre del martillo, longitud del varillaje y tipo de martillo que en la siguiente figura 11 muestra:

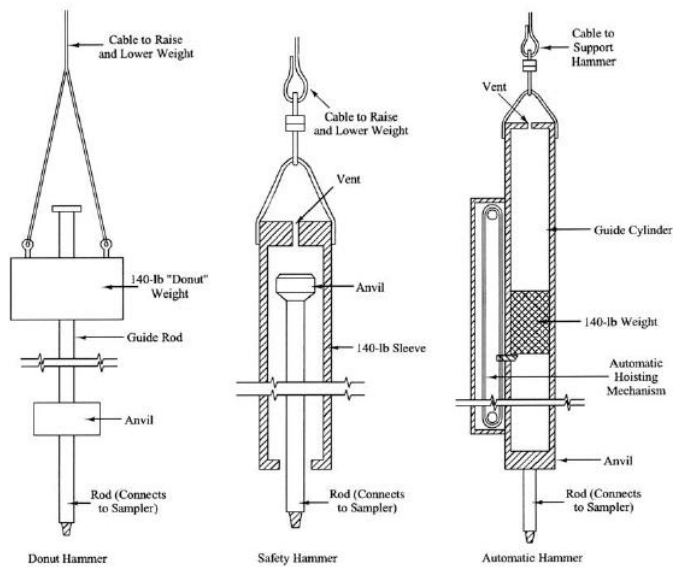


Figura 11. Detalle de la de los tipos de martillos

Fuente: PLAZA, 2012

A pesar de sus limitaciones o desventajas por sus diferentes condiciones, este también muestra grandes ventajas como obtener una muestra del subsuelo y su tiempo de ensayo es rápido.

Las correcciones obtenidas por diferentes tipos de condiciones son las siguientes:

- Corrección por profundidad del ensayo en suelos no cohesivos, estudiada por Peck(1973):

$$N = N' + 0,77 \log_{10} \frac{20}{\sigma'_0}$$

Donde:

σ'_0 : Esfuerzo efectivo en T/m2

- Se establece una tabla para correcciones de eficiencia del martillo, diámetro del sondeo, longitud de la cuerda y tipo de muestreador para determinar el N₆₀, por Seed(1985) y Skempton(1986):

$$N_{60} = \frac{N \eta_H \eta_B \eta_S \eta_R}{60}$$

Donde:

nH: eficiencia del martillo

nB: diametro del sondeo

nR: longitud de la cuerda

nS: tipo de muestreador

Table 2.5 Variations of η_H , η_B , η_S , and η_R [Eq. (2.6)]

1. Variation of η_H

Country	Hammer type	Hammer release	η_H (%)
Japan	Donut	Free fall	78
	Donut	Rope and pulley	67
United States	Safety	Rope and pulley	60
	Donut	Rope and pulley	45
Argentina	Donut	Rope and pulley	45
China	Donut	Free fall	60
	Donut	Rope and pulley	50

3. Variation of η_S

Variable	η_S
Standard sampler	1.0
With liner for dense sand and clay	0.8
With liner for loose sand	0.9

2. Variation of η_B

Diameter mm	η_B
60–120	1
150	1.05
200	1.15

4. Variation of η_R

Rod length m	η_R
>10	1.0
6–10	0.95
4–6	0.85
0–4	0.75

Figura 12. Correcciones para determinar el N₆₀

Fuente: BRAJA, 2007

2.5.2 Penetración dinámica con punta cónica (DPL, DPH Y DPSH)

El ensayo consiste en registrar los golpes en secciones de 10 a 20 cm de longitud con un peso y una caída libre. Con este ensayo se puede registrar valores de resistencia y deformabilidad.

Su confiabilidad está limitada por el tipo de terreno, es decir, que sirve para terrenos limos arenosos, arenas y no para otro tipo de terrenos. (Plaza, 2012) (BRAJA M., 2007).

La caída, el peso, la puntaza y la penetración definirá la nomenclatura del ensayo DPL (caída: 25cm, peso: 30Kg, puntaza: 60 grados y penetración: 10 cm), DPH (caída: 50cm, peso: 63.5Kg, puntaza: cuadrada de 4x4cm, con una longitud de 20 cm y termina en una pirámide de 90 grados y penetración: 20 cm) Y DPSH (caída: 76cm, peso: 63.5Kg, puntaza: cuadrada de 4x4cm, con una longitud de 20 cm y termina en una pirámide de 90 grados y penetración: 20 cm), siendo un ensayo ligero, pesado y superpesado respectivamente.

Este ensayo es únicamente utilizado cuando ya existen sondeos con extracción de muestras para verificar resultados. También existen correlaciones para sacar el N_{spt} .

2.5.3 Ensayo Lugeon

El ensayo trata sobre inyectar agua a presión en macizos rocosos, donde se va a calcular su permeabilidad por presencia de discontinuidades, midiéndose por el caudal que demanda. Para aislar las secciones ensayadas se utiliza un obturador y se ensaya

primero a presión atmosférica para luego continuar con presiones crecientes y decrecientes hasta volver a la presión atmosférica, durante 10 min y se anota los volúmenes de agua en que cada inyección.

En el caso de grandes profundidades hay que tomar en cuenta la presión desde el manómetro hasta la cota superior a ensayar y la suma del manómetro.

La unidad tomada en este ensayo es absorción de agua de 1lt/m*min bajo una presión de 10kg/cm², parejo al coeficiente K de 1/10⁻⁵ cm/seg (Plaza, 2012) (Plaza, 2012) (BRAJA M., 2007).

$$K = \frac{2,65 \cdot 10^{-5} \cdot Q}{L \cdot H} \ln \frac{10^3 \cdot L}{r}$$

Q: Caudal (l/min)

L: Longitud del tramo ensayado (m)

H: Presión aplicada (kg/cm²)

r: Radio del taladro (mm)

2.5.4 Lefranc

Este ensayo mide el coeficiente de permeabilidad en estratos sedimentarios con presencia de aguas subterráneas. Se inyecta agua por el sondeo o por una tubería, con una sobrecarga baja y constante (Plaza, 2012) (BRAJA M., 2007).

$$Q = C \cdot K \cdot H$$

Q: Caudal (m³/s).

H: Altura del agua sobre el nivel piezométrico (m).

K: Coeficiente de permeabilidad en m/s.

C: Coeficiente forma.

Nota: Si no existe un tubo ranurado y únicamente el sondeo con un radio plano el coeficiente C es de 4r, en caso contrario se toma en cuenta la longitud del tubo, el radio y la altura desde el punto medio a ensayar hasta el nivel freático.

$$C = \frac{4\pi}{\frac{2}{L} \log\left(\frac{L}{r}\right) - \frac{1}{2H}}$$

C: Coeficiente de forma

H: Distancia desde el punto medio de ensayo hasta el nivel piezométrico.

r: Radio

L: Longitud del tubo.

2.6 Técnicas geofísicas

2.6.1 Introducción a la geofísica

La geofísica está normada por la ASTM D 6429 y estudia características únicas del suelo o estructuras. Obtiene datos físicos como velocidad de ondas sísmicas, resistividad eléctrica, susceptibilidad magnética, densidad, entre otras y se lo conoce también como métodos indirectos de investigación (Martínez, 2012) (BRAJA M., 2007).

Puede ser aplicada para diferentes profesiones como minería, geotecnia, patologías, arqueología, medioambiente u estudios forenses. En geotecnia los parámetros obtenidos son: dificultad en excavar el suelo, diferenciación de estratos, nivel freático, módulos elásticos, discontinuidades, cavidades, entre otros.

2.6.2 Tomografía sísmica de refracción

La tomografía sísmica de refracción está dentro de los métodos sísmicos y de superficie, ya que existen también de pozos. Su función es identificar los estratos del suelo con las velocidades de propagación, que de acuerdo a varios actores, los suelos pueden variar entre 150 hasta 1000m/s, mientras que para gravas más compactas pueden llegar hasta 2500 m/s y para roca sana de 2000 a 8000 m/s, la compacidad del y una de las más importantes la ripabilidad. La ripabilidad es la facilidad con la que el suelo puede ser excavado, como se muestra en la figura 9.

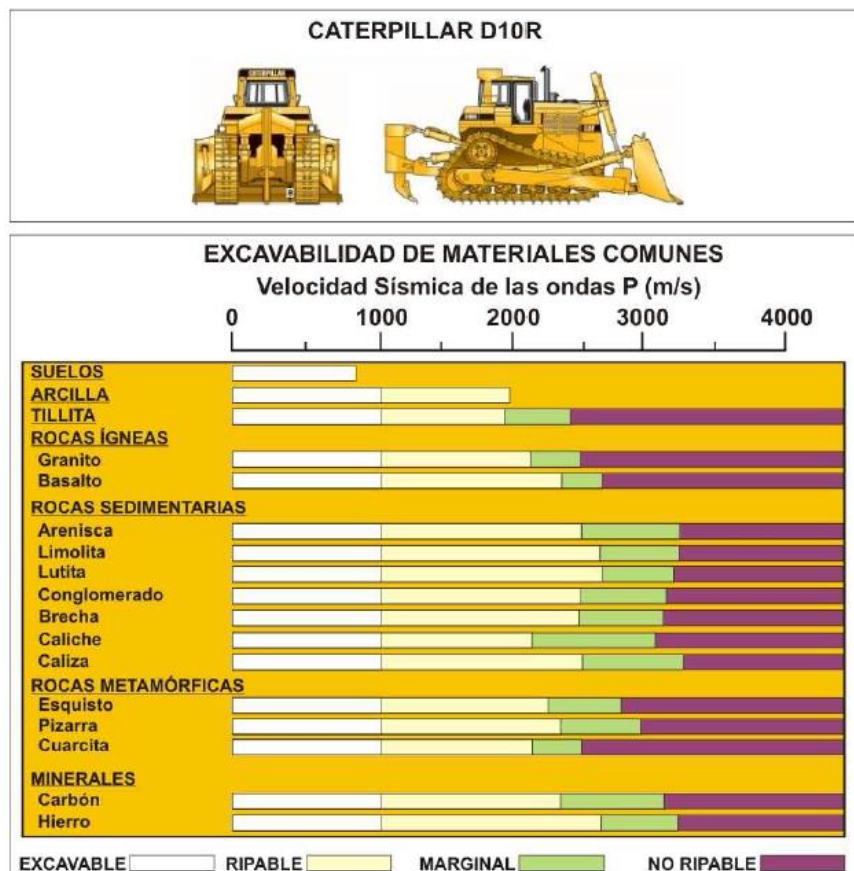


Figura 13. Ripabilidad basada en la maquina D-10R

Fuente: Caterpillar (Geofísica Consulores)

La sismica de refracción transmite ondas sísmicas P en el suelo, obteniendo diferentes velocidades de onda en estratos de menor a mayor potencia. Cuando la onda entra en un estrato de mayor potencia, la velocidad de onda se divide y tiene un cambio de trayectoria, llamándose así a este efecto, refracción.

Una vez que la onda entra a una segunda fase existe un ángulo de incidencia mayor, con la cual la onda es refractada, llamándole así ángulo crítico y onda refractada crítica. Esta onda crítica retorna a la superficie con gran amplitud, mientras que la energía sigue propagándose en un segundo estrato con un cambio de dirección y mayor velocidad como se muestra en la figura 14 a continuación.

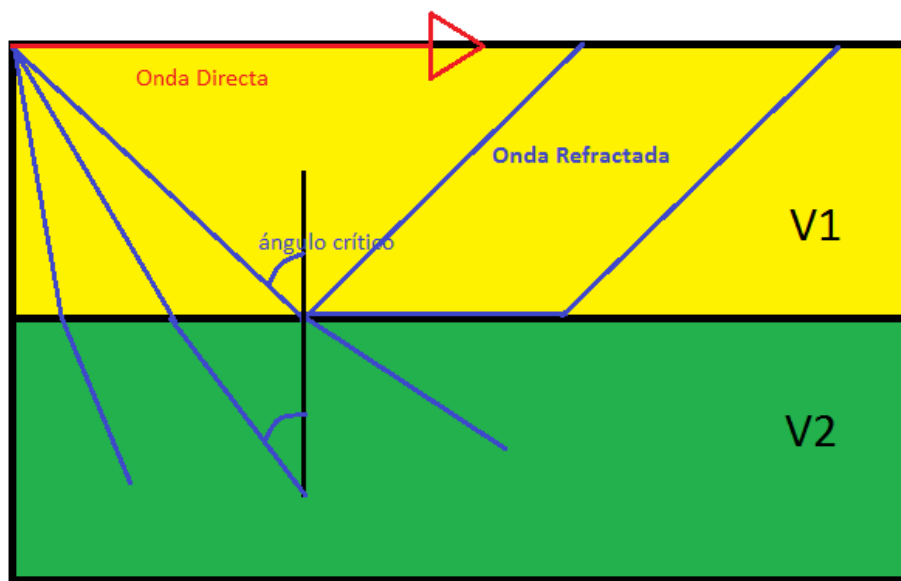


Figura 14. Propagación de ondas P

Fuente: ANDRÉS ALEJANDRO VELÁSQUEZ COBO, 2015

El efecto de refracción se cuantifica a través de la ley de Snell:

$$\frac{v_1}{\sin(i_1)} = \frac{v_2}{\sin(i_2)}$$

Para determinar el espesor de la capa homogénea se establece la siguiente formula:

$$H = \frac{X_c}{2} * \left(\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1} \right)^{\left(\frac{1}{2} \right)}$$

Donde:

H: Espesor de la capa homogénea

Xc: Distancia crítica de refracción

V2yV1: Velocidades que se determinan de las pendientes

Las partes de la sismica son:

- **Fuente Sísmica:** Es el golpe en el terreno o también el impulso mecánico producido en el suelo por cualquier medio, ya que también se utiliza explosivos.
- **Sensores:** Se los llama geófonos y receptan los movimientos en el terreno.
- **Unidad de registro:** Es el que recepta la información de los geófonos y lo transforma a una base digital.

Su principal diferencia entre la sismica de refracción y la tomografía sísmica de refracción, es la interacción que puede realizar mediante un mayor número de geófonos y de golpes. Volviendo al método más preciso y con mayor detalle, pero esto se debe a que ya no se ajustan las rectas, sino se basa en la inversión de residuos. Se llama residuo a la diferencia entre los tiempos reales de recorrido de ondas P y las teóricas; y el proceso de inversión va a dar lugar a la actualización de interacciones (Martínez, 2012).

Se utiliza la ecuación de Eikonal mediante proceso de diferencias finitas

$$(\nabla \tau)^2 = p^2(x, y, z)$$

Donde:

T(x,y,z): Tiempo recorrido desde la fuente hasta punto de coordenadas (x,y,z).

P: Lentitud, inversa del vector velocidad, en el punto (x,y,z).

Esta ecuación se utiliza una vez definido el modelo inicial, para determinar los residuos de la primera interacción, y así hasta conseguir que la suma de los residuos alcanza el mínimo.

Limitaciones del método:

- No se recomienda en zonas urbanas
- La distinción de ondas es de confiabilidad baja si hay mucho ruido ambiental como lluvia, granizo u otro tipo de vibraciones.
- Al ser un método de interpretación su fiabilidad tiene incertidumbre
- Si existiese un caso en el que una capa de mayor densidad o dureza esté por encima de otro de menor potencia, este no sería detectado.

2.7 Ensayos de identificación en laboratorio

2.7.1 Humedad natural (ASTM D 2216)

El contenido de humedad es la relación entre la cantidad de agua y el peso seco del suelo, se obtiene mediante secado al horno del suelo y expresado en porcentaje. Es de gran utilidad para muchos parámetros, resultados de otros ensayos, identificar el suelo y en función de correlaciones empíricas con ayuda de resultados en los Límites de Atterberg, se puede determinar posibles cambios de volumen.

2.7.2 Granulometría (ASTM D 422-63)

El ensayo de granulometría por tamizado, identifica el peso de los tamaños de partículas de una masa tomada, que viene normado por la ASTM, dependiendo del tamaño máximo del árido. En general su gráfica es una curva donde las ordenadas representan los porcentajes que pasan por cada tamiz y en las abscisas el tamaño del tamiz. Con la granulometría podemos clasificar el material, tener parámetros como diámetro eficaz, coeficiente de curvatura y de uniformidad.

2.7.3 Plasticidad de los suelos (ASTM D 4318)

La plasticidad del suelo definido por el índice de plasticidad se expresa en porcentaje y dependen de la humedad determinada en el ensayo. Este ensayo en general se utiliza para determinar el comportamiento de los suelos cohesivos.

El límite líquido es cuando el suelo pasa del estado plástico a líquido

El límite plástico es cuando el suelo pasa del estado semisólido a plástico y restando éste valor al límite líquido obtenemos el índice de plasticidad.

2.7.4 Clasificación de los suelos

La clasificación del suelo se utiliza dependiendo de la utilidad que se le va a dar a este, generalmente para fines de mejoramiento para carreteras o vías se utiliza la AASHTO, para geotecnia la SUCS, entre otras.

Los tipos de clasificación son las siguientes:

- I.S.S.M.F.E.
- SUCS
- AASHTO
- LCPC
- PG3
- UIC

2.7.5 Densidad aparente (ASTM D 7263)

Es el peso de un suelo en estado natural en un volumen específico, expresado así, en masa sobre volumen. Su importancia tiene relevancia para otros ensayos y propiedades mecánicas del suelo.

2.8 Ensayos para la determinación de la resistencia de un suelo en laboratorio

2.8.1 Ensayo corte directo (ASTM D 3080)

El ensayo es efectuado por tres probetas talladas o remoldadas en una prensa horizontal, donde se aplica un esfuerzo normal, como efecto de consolidación y uno tangencial para efectos de rotura. Permite ensayar suelos cohesivos y granulares, dando como resultado parámetros de cohesión y ángulo de fricción (BRAJA M., 2007).

Existen tres tipos de cortes:

- Consolidado-Drenado (CD): Este tipo de ensayo consiste en aplicar un esfuerzo normal a la probeta para dar una consolidación primaria y luego se le aplica una velocidad lenta para que el agua pueda drenar y no se produzca presión intersticial al momento de la rotura.
- Consolidado-No drenado (CU): Se aplica igualmente la presión normal para que la muestra se consolide y luego se le aplica una fuerza lo suficientemente rápida para que el agua no logre drenar.
- No consolidado-No drenado (UU): A la muestra se le aplica la presión normal y la velocidad rápida para que el agua no drene sin esperar a que se consolide.

2.8.2 Ensayo triaxial (ASTM 2850 03a)

Se ensayan tres probetas en cápsulas donde se puede medir la saturación, presión de poros y presión externa, en una prensa de eje vertical. Además la capsula permite modelar el

confinamiento y someterles a tres diferentes esfuerzos efectivos. Las probetas pueden ser saturadas y en el caso del UU puede no ser saturado (BRAJA M., 2007).

Las probetas que son ensayadas pueden tener 38.1, 50.8 o 101.6 mm de diámetro y su altura variar entre 1.85 a 2.25 veces su diámetro. También hay que tomar en cuenta que para poder saturar la muestra o darle presión interna se necesita de una membrana que hay que tomar en cuenta para efectos de cálculo como las piedras porosas colocadas en su parte inferior como superior.

Existen tres tipos de ensayos:

- Consolidado-No drenado (CU): La muestra es saturada, confinada a esfuerzos totales con la diferencia al corte directo, que la presión intersticial puede ser medida y los parámetros obtenidos pueden ser de esfuerzos totales, como efectivos.
- Consolidado-Drenado (CD): Después de que la muestra es saturada se aplica una velocidad para que la presión intersticial no se incremente y se mide el volumen del agua expulsa.
- No consolidado-No drenado (UU): La probeta puede o no saturarse para luego ser ensaya únicamente aplicando esfuerzos totales para confinar la muestra.

2.8.3 Compresión simple (ASTM D 2166)

El ensayo es realizado con una probeta tallada cilíndricamente con una altura del doble de su diámetro y probado en una prensa de eje vertical. Se obtiene una curva gráfica, donde se muestra su deformación axial en las abscisas y su resistencia en las

ordenadas. La curva tendrá un pico que se considera en mucho de los casos su resistencia máxima a la compresión simple (q_u), pero en caso de que talvez este pico no se produjo y existan varios, debido a grandes deformaciones que no produjeron rotura, se considera la resistencia a un 15% de su deformación axial.

En general el ensayo se lo utiliza en suelos cohesivos inalterados o remoldados, siempre y cuando se especifique su densidad y humedad. En el caso de suelos saturados se puede tomar la mitad de su resistencia máxima como su cohesión (BRAJA M., 2007).

CAPITULO III TRABAJOS DE CAMPO EN EL PROYECTO

3.1 Ubicación y número de líneas sísmicas, perforaciones y calicatas

En la figura 15 se muestra la localización de los trabajos de campo en el plano general de la obra de toma (FASE 1):

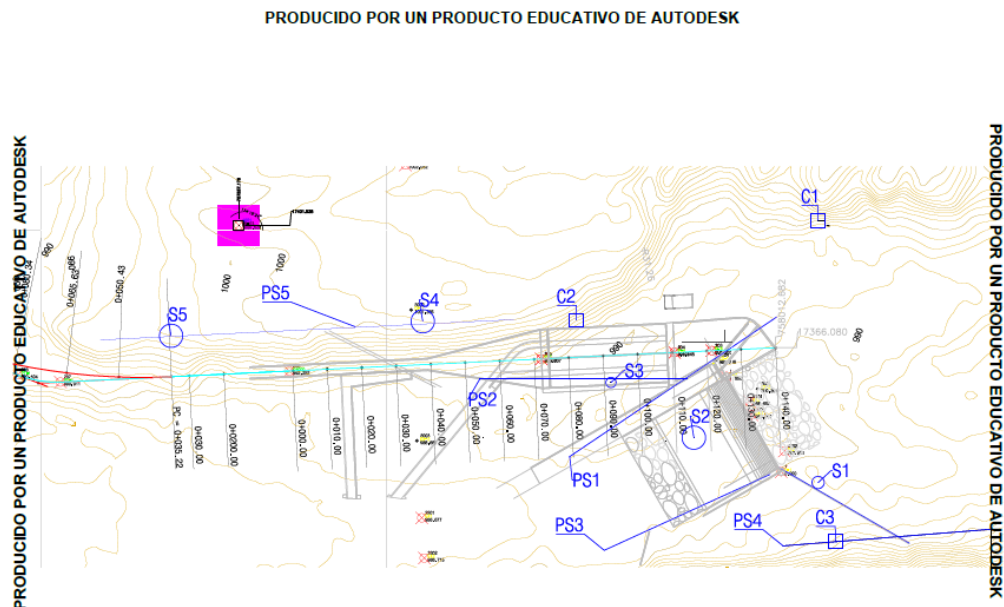


Figura 15. Localización de trabajos en campo

Fuente: ANDRÉS ALEJANDRO VELÁSQUEZ COBO, 2015

(Referirse a plano topográfico en Anexo 6)

En la tabla siguiente se aportan las coordenadas de los ensayos realizados. Se trata de coordenadas UTM Datum WGS 84 tomadas con un navegador GARMIN-Etrex con precisión $\pm 3\text{m}$, siendo por tanto coordenadas aproximadas:

Tabla 2.Ubicación de trabajos en campo

ENSAYO	X	Y
S1	758025	17327
S2	757989	17340
S3	757965	17356
S4	757910	17373
S5	757837	17369
C1	758025	17403
C2	757955	17377
C3	758036	17310
Perfil Sísmico 1 INICIO	758013	17375
Perfil Sísmico 1 FINAL	757981	17339
Perfil Sísmico 2 INICIO	757934	17357
Perfil Sísmico 2 FINAL	757987	17357
Perfil Sísmico 3 INICIO	758008	17335
Perfil Sísmico 3 FINAL	757960	17313
Perfil Sísmico 4 INICIO	758037	17355
Perfil Sísmico 4 FINAL	758008	17327
Perfil Sísmico 5 INICIO	757817	17368
Perfil Sísmico 5 FINAL	757936	17374

Fuente: ANDRÉS ALEJANDRO VELÁSQUEZ COBO, 2015

(Referirse a plano topográfico en Anexo 5)

3.2 Metodología empleada

3.2.1 Sondeo mecánico a rotación con extracción continua de testigo

Se han realizado un total de 5 sondeos.

En el apartado I de anexos se dispone del perfil de cada sondeo, que incluye además otros datos de la perforación, tales como los ensayos SPT, la extracción de muestras inalteradas, posición de nivel freático y resultados de ensayos de laboratorio realizados.

Fundamento teórico

El sondeo mecánico a rotación es la técnica fundamental en todo reconocimiento geotécnico. Es una perforación de pequeño diámetro, generalmente entre 65 y 140 mm que permite reconocer la naturaleza y la localización de las diferentes capas del subsuelo mediante la extracción continua de testigo de suelo o roca, a la vez que se alterna con ensayos geotécnicos de penetración y extracción de muestras inalteradas, en los casos en que es posible.

Las perforaciones se realizaron con una sonda de avance hidráulico con motricidad autónoma (según las necesidades y características del estudio) dotada de castillete o torre de sondeo y bomba de lodos.

El testigo del terreno perforado se aloja en un tubo testigo hueco, en cuyo extremo inferior va enroscada una corona de vidia o diamante que va realizando la perforación.

Al extremo superior del tubo va enroscado el varillaje, generalmente de 42 ó 50 mm (hueco), para permitir que pase el agua proveniente de la bomba.

Durante la ejecución del sondeo, y si el terreno es inestable, hay que proceder a la entubación del sondeo con la tubería de revestimiento o bien se utilizan lodos bentoníticos que mantienen las paredes sin desmoronamientos. (ECURSEVI, 2014)



Figura 16. Sondeo mecánico a rotación percusión
Fuente: ANDRÉS ALEJANDRO VELÁSQUEZ COBO, 2015

3.2.2 Calicata de reconocimiento

Para este trabajo se han realizado en concreto 3 catas excavadas con retroexcavadora.

En el apartado II de anexos se dispone de su perfil y situación de las calicatas.

Fundamento teórico

Una calicata de reconocimiento es una excavación realizada con medios mecánicos convencionales, que permite la observación directa desde la superficie y hasta una profundidad moderada del perfil geológico del terreno. También se pueden realizar de forma manual en casos especiales, por ejemplo, cuando se quieren observar los cimientos de un edificio.

Las catas también permiten la toma de muestras alteradas o inalteradas de suelo o roca, toma de medidas y la realización de ensayos in situ (ECURSEVI, 2014).



Figura 17. Calicata de reconocimiento

Fuente: ANDRÉS ALEJANDRO VELÁSQUEZ COBO, 2015

Normalmente las calicatas tienen una anchura similar a la anchuras de la cuchara de la retroexcavadora, y una profundidad similar a la de la longitud del brazo de la máquina aunque, excepcionalmente, se pueden alcanzar profundidades mayores procediendo a la realización de bermas o bancales.

La elección de la maquinaria depende de factores como el tipo de terreno, profundidad exigida, factores económicos o facilidad de acceso. (ECURSEVI, 2014)

El grado de excavabilidad se puede comparar a partir de los medios mecánicos utilizados, según la siguiente tabla:

Tabla 3. Grado de excavabilidad

GRADO DE EXCAVABILIDAD	MEDIOS MECÁNICOS
Fácilmente excavable	Avance con retroexcavadora mixta
Difícilmente excavable	Avance con retroexcavadora giratoria
No Excavable	Avance con martillo neumático-hidráulico / Explosivos

Fuente: ECURSEVI, 2014

El grado de estabilidad de las paredes de la calicata se puede obtener a partir de la siguiente tabla:

Tabla 4. Grado de estabilidad

GRADO DE ESTABILIDAD	COMPORTAMIENTO	TIPO DE TERRENO
1	Paredes estables	Suelos arcillosos cohesivos. Macizo rocoso masivo
2	Caída de gravas y bolos	Suelos granulares. Macizo rocoso diaclasado
3	Caída de bloques	Macizo rocoso diaclasado
4	Inestabilidad por descalce	Alternancia de niveles duros y blandos
5	Inestabilidad por rotura circular	Suelos arcillosos y limosos de cohesión baja
6	Desplome	Rellenos antrópicos. Suelos granulares con nivel freático. Suelos arcillosos y limosos de cohesión baja con nivel freático

Fuente: ECURSEVI, 2014

3.2.3 Tomografía Sísmica de refracción

Se han realizado un total de 5 perfiles de tomografía sísmica de refracción.

En el apartado III de anexos, se incluyen los resultados de los modelos y gráficas de la tomografía sísmica de refracción.

Fundamento teórico

Los métodos sísmicos están basados en la medida de la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en el subsuelo, en función de las constantes elásticas de los materiales que atraviesan.

En un ensayo de sísmica de refracción, partimos de una fuente que genera una perturbación sísmica, la cual se propaga dentro del subsuelo viajando hasta alcanzar puntos donde cambian las propiedades elásticas del medio, (velocidades principalmente). En esas interfaces, ocurre un proceso de partición de la energía,

por lo cual una porción de la energía continúa su propagación hacia el interior de la tierra, mientras que la otra porción regresa a la superficie, donde es registrada por dispositivos receptores (geófonos). (ECURSEVI, 2014)

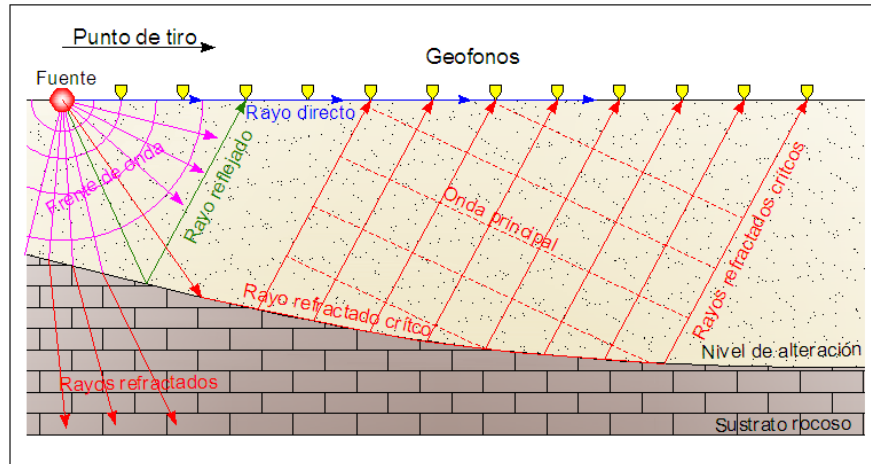


Figura 18. Propagación de ondas P
Fuente: ECURSEVI, 2014

Estas perturbaciones sísmicas, originan diferentes tipos de ondas entre las cuales destacamos las ondas Love, ondas Rayleigh, ondas S y ondas P. Estas últimas son también conocidas como ondas longitudinales las cuales resultan de interés fundamental en la prospección con sísmica de refracción.

Las ondas P, también se conocen como ondas primarias. Como ellas presentan siempre mayor velocidad que las ondas S y que las ondas superficiales. Y son siempre las primeras en llegar a cualquier distancia de la fuente. En materiales isótropos las ondas P se caracterizan porque el movimiento de las partículas del suelo al paso de la onda sigue la misma dirección en que ésta se propaga. El principal interés de la sísmica de refracción radica en la obtención de un modelo del subsuelo, a través del cálculo de velocidades y de profundidad de las superficies refractoras. Para lograr este objetivo se deben seguir entre otros pasos, los siguientes: la selección de las primeras llegadas de los registros de manera automática o manual, construcción de las curvas distancia-tiempo y cálculo de velocidades. (ECURSEVI, 2014)

CAPITULO IV ENSAYOS REALIZADOS

4.1 Ensayos en campo

Los trabajos de campo realizados para el reconocimiento del subsuelo, han consistido en la ejecución de los siguientes ensayos:

Tabla 5. Ensayos en campo

SONDEOS Y CALICATAS	Nº DE ENSAYOS	PROFUNDIDAD (m)
SONDEOS CON EXTRACCIÓN	S-1 MI	17,00
	S-2 MD	19,00
	S -3 MD	9,00
	S-4 MD	9,50
	S -5 MD	11,50
CALICATAS DE RECONOCIMIENTO	C1	4,00
	C2	3,00
	C3	3,50
GEOFISICA	Nº DE ENSAYOS	LONGITUD (m)
ENSAYOS DE TOMOGRAFÍA SÍSMICA DE REFRACCION	PERFIL 1	60
	PERFIL 2	60
	PERFIL3	60
	PERFIL 4	60
	PERFIL 5	120

Fuente: (ANDRÉS ALEJANDRO VELÁSQUEZ COBO, 2015)

Se han realizado igualmente los siguientes ensayos “in situ” en el interior de los sondeos y calicatas:

Tabla 6. Ensayos en los trabajos de campo

SONDEOS	Nº DE ENSAYOS
ENSAYOS DE PENETRACIÓN S.P.T.	26
ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC	3
TESTIGOS INALTERADOS	9
CALICATAS	Nº DE ENSAYOS
MUESTRAS ALTERDAS	27

Fuente: (ANDRÉS ALEJANDRO VELÁSQUEZ COBO, 2015)

En el apartado VI de anexos de este informe se adjunta el sustento fotográfico de los trabajos realizados.

4.2 Ensayo S.P.T

Fundamento teórico

La ejecución de este ensayo está normalizada según ASTM D-1586 Y UNE-103-800-92.

Los ensayos de Penetración SPT se utilizan en Geotecnia para obtener información sobre la compacidad o consistencia de un suelo, permitiendo correlacionar y obtener diferentes parámetros resistentes de los materiales atravesados. Además se recuperan muestras alteradas de suelo para su identificación.

Este tipo de ensayos se realiza en el interior de sondeos, en los cuales es necesario limpiar previamente el fondo de la perforación, manteniendo la entubación por encima del nivel de comienzo del ensayo.

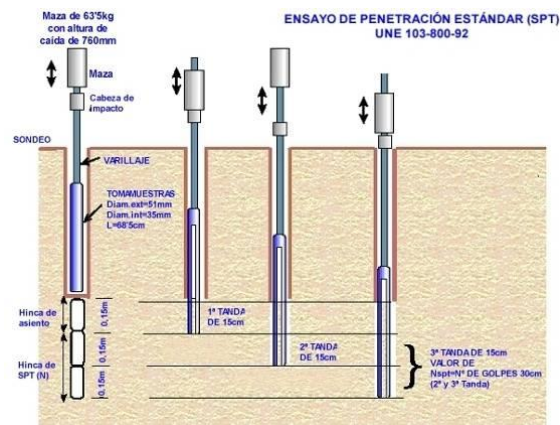


Figura 19. Imagen ilustrativa del proceso SPT
Fuente: ECURSEVI, 2014

El equipo necesario para la realización de esta prueba consta de un tomamuestras bipartido de pared gruesa de 51 mm de sección acoplado a un varillaje rígido, en cuyo extremo se coloca la cabeza de golpe y contragolpe, sobre la que impacta una maza de 63,5 kg en caída libre, desde una altura de 76,0 cm. Este equipo suele ir montado sobre el camión de sondeos, acoplado a la sonda y con un funcionamiento automático.

En el caso de materiales granulares gruesos, el ensayo se realiza con una “puntaza ciega” que no recupera la muestra atravesada.

En el procedimiento de realización del ensayo se distinguen dos fases. Una hincada de colocación de 15 cm, incluyendo la penetración inicial del tomamuestras bajo su propio peso, y la segunda fase o ensayo de hincada propiamente dicho, en la cual se anota el número de golpes necesarios para penetrar adicionalmente 30 cm. Este número obtenido se denomina resistencia a la penetración N_{SPT} . Si los 30 cm de penetración no pueden lograrse con 100 golpes, el ensayo de hincada se dará por terminado y se alcanza la condición de rechazo, $N_{SPT} = R$. (ECURSEVI, 2014).

Este ensayo tiene una mayor aplicación y representatividad en suelos granulares, frente a suelos cohesivos y rocas blandas donde su interpretación es más limitada.

Los resultados que proporcionan los ensayos SPT pueden ser objeto de correcciones que tienen en cuenta diversos factores tales como la profundidad del ensayo, presencia de nivel freático, método de perforación, diámetro de la entubación previa, tipo de martillo bien automático o manual, longitud y tipo de varillaje, velocidad de aplicación de golpeo, etc.

Tabla 7. Correlaciones del N_{70} para parámetros mecánicos

Description	Very loose	Loose	Medium	Dense	Very dense
Relative density D_r	0	0.15	0.35	0.65	0.85
SPT N'_{70} : fine	1–2	3–6	7–15	16–30	?
medium	2–3	4–7	8–20	21–40	> 40
coarse	3–6	5–9	10–25	26–45	> 45
ϕ : fine	26–28	28–30	30–34	33–38	
medium	27–28	30–32	32–36	36–42	< 50
coarse	28–30	30–34	33–40	40–50	
γ_{wet} , kN/m ³	11–16*	14–18	17–20	17–22	20–23

* Excavated soil or material dumped from a truck has a unit weight of 11 to 14 kN/m³ and must be quite dense to weigh much over 21 kN/m³. No existing soil has a $D_r = 0.00$ nor a value of 1.00. Common ranges are from 0.3 to 0.7.

Fuente: (Bowles, 1996)

4.3 Ensayo de permeabilidad LEFRANK

En los sondeos se han realizado un total de 3 ensayos de permeabilidad Lefrank distribuidos uno en cada sondeo.

En el apartado IV de anexos se encuentra el parte de resultado de estos ensayos.

El siguiente cuadro resume el número y profundidad de los diferentes ensayos realizados.

Tabla 8. Ensayos Lefrank

SONDEOS	PROFUNDIDAD (m)	
	DE	HASTA
S1 MI	9,00	12,00
S2 MD	9,00	15,00
S3 MD	5,00	7,20

Fuente: ANDRÉS ALEJANDRO VELÁSQUEZ COBO, 2015

Fundamento teórico

Este tipo de ensayo se utiliza para medir el coeficiente de permeabilidad en suelos permeables o semipermeables, de tipo granular, situados por debajo del nivel freático, y en rocas muy fracturadas.

El procedimiento consiste en rellenar de agua el sondeo y medir el caudal necesario para mantener el nivel constante (ensayo a régimen permanente) o bien medir la velocidad de descenso del nivel de agua (ensayo a régimen variable). La medida del caudal de admisión debe realizarse cada 5 minutos manteniendo el nivel constante en la boca del sondeo durante 30 minutos. Si la admisión es muy alta, debe medirse cada minuto durante los primeros 20 minutos y después cada 5 minutos hasta llegar a los 30 minutos.

La realización del ensayo requiere que, antes de medir tiempos y caudales, se llene el sondeo de agua durante aproximadamente 15 minutos, observando que el aire es expulsado y que se estabiliza el nivel y la velocidad de descenso, lo que

indicaría que se ha alcanzado el régimen permanente y que la zona se encuentra saturada.

La permeabilidad “k” es la capacidad que tiene un terreno de permitir el paso de agua a través de él. Se mide el caudal de agua que pasa a través de una sección de terreno, bajo la carga producida por un gradiente hidráulico a una temperatura determinada. La permeabilidad se obtiene por esta expresión: (ECURSEVI, 2014)

$$k = Q/Ch$$

Siendo:

k = Permeabilidad (m/s)

Q = Caudal inyectado (m³/s)

h = Altura del agua dentro del sondeo, por encima del nivel estático (m).

C = Factor de forma.

El factor o coeficiente de forma viene dado por la expresión:

$$C = 4 \pi / [(2/L) \text{Log} (L/r) - (1/2H)]$$

Donde:

L = Longitud del tramo ensayado (m)

r = Radio del sondeo (m).

H = Distancia del punto medio de la zona ensayada al nivel freático (m).

Se inyecta agua hasta subir el nivel de agua a la boca del sondeo, tomando como referencia el inicio de la tubería de revestimiento. En ese momento se deja de inyectar y, transcurrido un tiempo que debe ser entorno a 15 minutos, se anota el descenso que se haya producido en cm. Es conveniente el realizar medidas durante los 15 minutos mencionados cada 5 minutos para tener una mejor visión de la evolución de la permeabilidad del tramo ensayado. (ECURSEVI, 2014)

La permeabilidad se calcula mediante la expresión siguiente:

$$k = [d^2_c \text{Ln} (2L/d) / 8Lt] \text{Ln} h_1 / h_2$$

Donde:

k = permeabilidad.

h_1, h_2 = altura del agua al principio y al final del ensayo.

t = tiempo transcurrido entre la observación de los niveles h_1 y h_2 .

L = longitud de la zona filtrante.

d = diámetro de la zona filtrante.

d_c = diámetro de la entubación (puede ser igual a d).

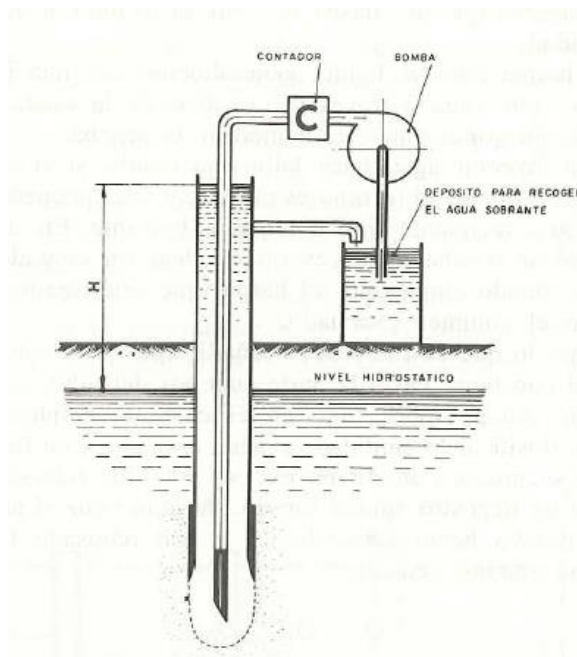


Figura 20. Imagen ilustrativa del ensayo Lefrank

Fuente: ECURSEVI, 2014)



Figura 21. Ensayo Lefrank en campo

Fuente: ANDRÉS ALEJANDRO VELÁSQUEZ COBO, 2015

4.4 Ensayos en laboratorio

Los ensayos de laboratorio para caracterización de las unidades geotécnicas se encuentran en el apartado V y han tenido como misión la obtención de parámetros de identificación y propiedades mecánicas del suelo.

Se han realizado los siguientes ensayos:

Tabla 9. Resumen de ensayos en laboratorio

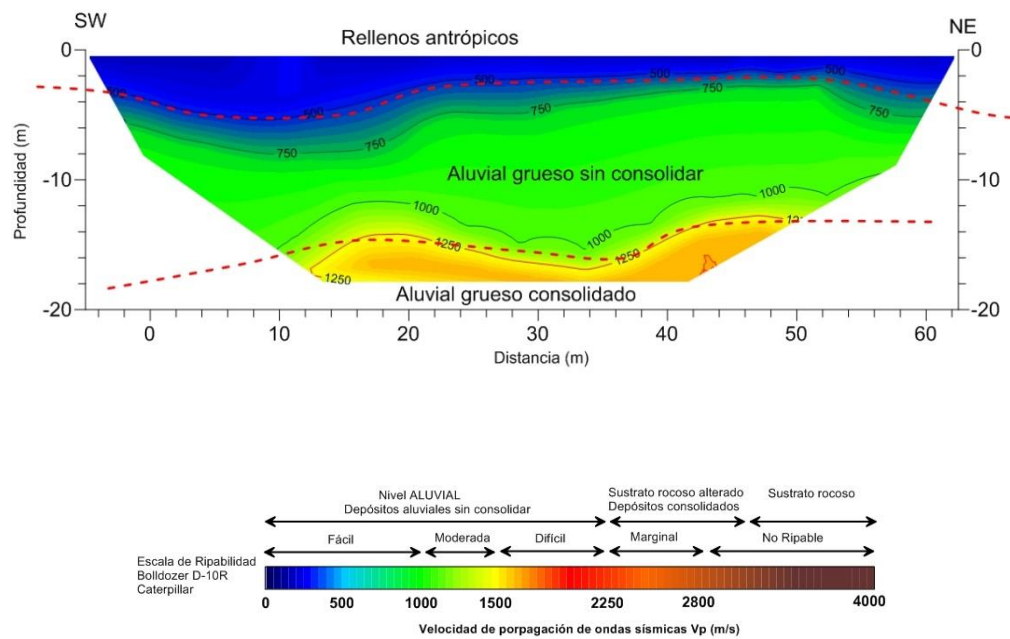
ENSAYOS DE LABORATORIO	NÚMERO DE ENSAYOS
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D 422)	22
DETERMINACIÓN DE LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D 4318)	22
DETERMINACIÓN DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216)	32
DETERMINACIÓN DE DENSIDAD APARENTE Y SECA (ASTM D 7263)	16
ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE EN SUELOS (ASTM D 2166)	3
ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN SUELOS TIPO UU (ASTM D 3080)	1
ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE EN ROCAS (UNE 22950/89)	2
CORTE DIRECTO TIPO CU, ASTM D 6528	1
CORTE DIRECTO TIPO CD, ASTM D 3080	5

Fuente: (ANDRÉS ALEJANDRO VELÁSQUEZ COBO, 2015)

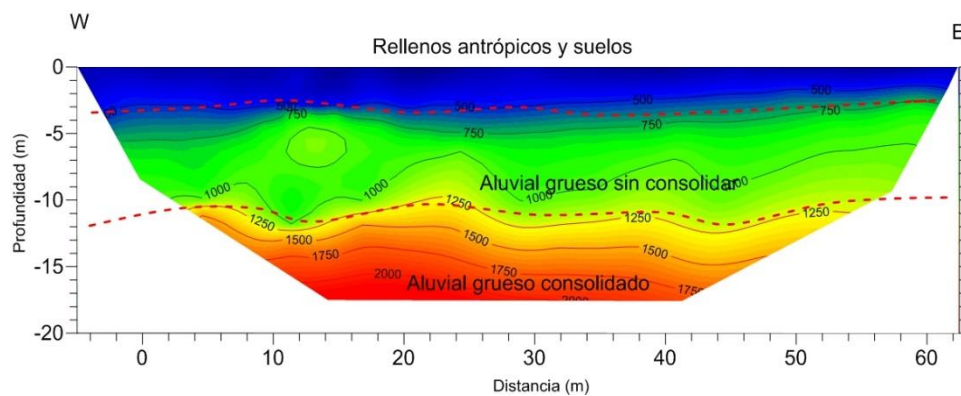
CAPITULO IV ANALISIS DE RESULTADOS

5.1 Perfiles sísmicos margen derecho

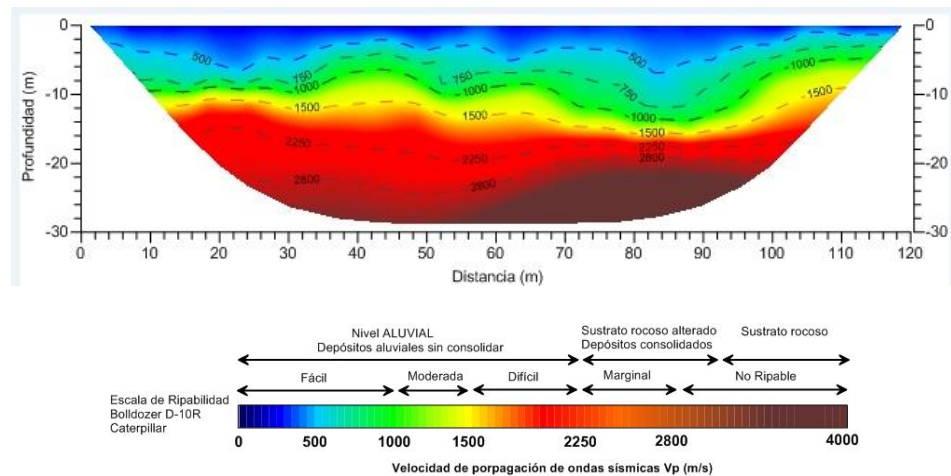
Perfil sísmico 1



Perfil sísmico 2



Perfil sísmico 5



En los perfiles de la margen derecha, desde el punto de vista del comportamiento sísmico se pueden diferenciar tres niveles de terreno.

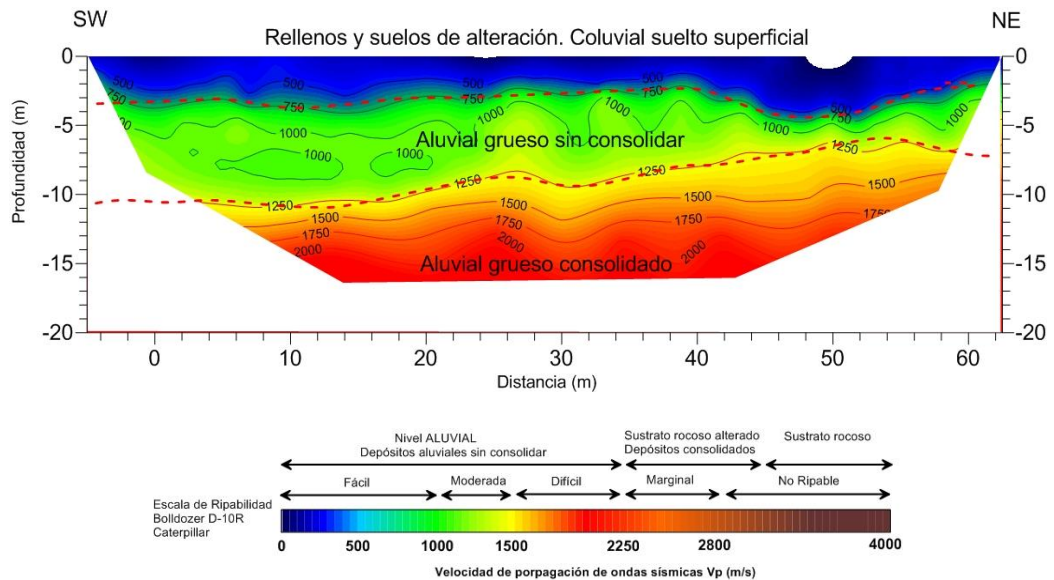
Encontramos un nivel superior desde una cota 1000 msnm, con un espesor medio de 0,50 m a un máximo de 8-12,0 m que se encuentra por encima de la terraza aluvial. Este nivel presenta una velocidad promedio de V_p inferior a 750-1000 m/s, lo que indica que estaría formado por materiales sueltos poco consolidados fácilmente excavables. Este nivel corresponde con los materiales de relleno, suelos y coluviales superficial más suelto.

El siguiente nivel con V_p 1000-1500 m/s, empieza a una profundidad de 8,0-12,0 m y a medida que su cota de inicio decrece hacia el sur, su espesor incrementa de 4,00 a 10,0 m y se interpreta como un aluvial reciente con un grado medio de cementación.

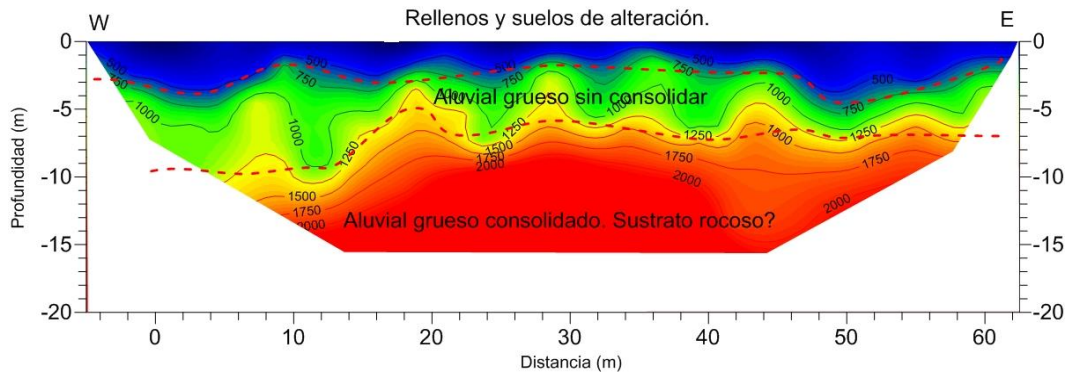
A mayor profundidad aparece un nivel de terreno con velocidades de 2250 a 2850 conformado por aluviales más cementados o consolidados.

5.2 Perfiles sísmicos margen izquierdo

Perfil sísmico 3



Perfil sísmico 4



En los perfiles de la margen izquierda se reconocen los mismos niveles de terreno pero con una potencia menor para los niveles superiores, lo que podría ser indicativo de que el nivel de aluvial reciente se acuña hacia esta margen y el sustrato más profundo está más cementado o presenta características rocosas.

5.3 Resultados S5-S4

Tabla 10. Resultados de los S5 y S4

Cota msnm	OESTE						ESTE					
	Sonde 5						Sonde 4					
	Unidades Geotecnicas	Prof	SUCS	Ns pt	C	ϕ	Unidades Geotecnicas	Prof	SUCS	Ns pt	C	ϕ
1001							UG1-CV-R	0				
1000.5								0.5				
1000								1		8		
999.5								1.5				
999								2 ML		11		
998.5								2.5				
998	UG1-CV-R	0						3		15		
997.5		0.5						3.5				
997		1						4 ML			4.88	16.57
996.5		1.5 SM		4				4.5				
996		2					UG4-QL	5		19		
995.5		2.5		24				5.5				
995		3						6 SM		22		
994.5		3.5 SM		29				6.5				
994		4						7		18		
993.5		4.5			0	16.86		7.5				
993	UG4-QL	5 SM		24				8 SM		15		
992.5		5.5						8.5				
992		6		26				9			2.67	21.36
991.5		6.5					UG5-QT	9.5				
991		7 SM		21								
990.5		7.5										
990		8		13								
989.5		8.5										
989		9 SM			0.04	21.01						
988.5		9.5										
988		10		60								
987.5	UG5-QT	10.5										
987		11.5 SW-SM		35								
986.5		11.5										

Fuente: (ANDRÉS ALEJANDRO VELÁSQUEZ COBO, 2015)

5.4 Resultados C1-C2-C3 y S3-S2-S1

Tabla 11. Resultados sondeos y calicatas 1,2 y 3

Unidad Geotécnica		Procedencia	Tipo de muestra	Profundidad (m)		Granulometría												Límites de Atterberg			Humedad	Densidad aparente		USCS/ASTM	Nombre de grupo	HRB/AASHTO		
						T ₁₀₀	T ₈₀	T ₅₀	T ₄₀	T ₂₅	T ₂₀	T ₁₀	T ₅	T ₂	T _{0,4}	T _{0,08}	W _L	W _P	I _p	w(%)		Dap g/cm ³	Dsc g/cm ³				Simbolo	
UG-2. QAL	S1	TP	0,30	2,30															0,7	2,76	2,74							
UG-2. QAL	S1	MA	3,00	4,60	100	100	100	100	100	100	100	100	100	75	6,4	NO	NP	NP	17,5			SP-SM	Arena pobremente gradada con limo	A-3				
UG-2. QAL	S1	MA	4,60	4,80	100	100	100	100	100	100	100	100	83	24	3,7	NO	NP	NP	18,9			SW-SM	Arena bien gradada con limo	A-1-b				
UG-2. QAL	S1	TP	6,70	6,95																2,77	2,75							
UG-2. QAL	S2	MA	3,00	5,00	100	100	100	100	100	100	100	100	99	24	1,9	NO	NP	NP				SW-SM	Arena bien gradada con limo	A-1-b				
UG-2. QAL	S2	MA	3,00	5,00															0,2	2,95	2,94							
UG-2. QAL	S2	MA	5,00	6,00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	87	18,5	NO	NP	NP	28,6			SM	Arena limosa	A-2-4				
UG-2. QAL	S2	MA	5,00	6,00															0,5	3,01	2,99							
UG-2. QAL	S2	MA	6,00	7,70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	31,2	NO	NP	NP				SM	Arena limosa	A-2-4				
UG-2. QAL	S2	MA	6,00	7,70															1,6	2,77	2,72							
UG-2. QAL	S2	MA	7,70	8,00															2,2	2,75	2,70							
UG-2. QAL	S2	TP	11,50	12,00																								
UG-2. QAL	S2	MA	13,50	14,50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	67	34,6	NO	NP	NP	30,8			SM	Arena limosa	A-2-4				
UG-2. QAL	S2	MA	13,50	14,50															2,1	2,83	2,78							
	S2	AGUA	15,00	16,00																								
UG-2. QAL	S2	MA	15,45	19,00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	80	49,9	NO	NP	NP	37,4			SM	Arena limosa	A-4				
UG-2. QAL	S3	TP	3,00	3,40															0,6	2,81	2,79							
UG-2. QAL	S3	MA	3,40	5,00	100	100	100	100	100	100	100	100	96	46	22,5	NO	NP	NP	21,9			SM	Arena limosa	A-1-b				
UG-3. QL	C1	MA	1,50	2,00	100	100	100	100	100	100	100	99	95	78	43,5	NO	NP	NP	24,3	1,81	1,45	SM	Arena limosa	A-4				
UG-5. QT	C1	MA	3,00	3,50	100	90	85	78	72	67	57	49	42	17	3,5	NO	NP	NP	10,7			GP-GM	emente gradada con lim	A-1-a				
UG-4. QL	C2	MA	15,00	16,00	100	100	100	100	100	100	100	100	97	77	41,1	NO	NP	NP	23,2	1,99	1,62	SM	Arena limosa	A-4				
UG-3. QC	C3	MA	1,50	2,00	100	76	76	76	74	70	65	62	59	53	34,0	59,3	33,4	25,9	47,1	1,72	1,17	GM	Grava limosa con arena	A-2-7				

Fuente: (ECURSEVI, 2014)

Donde:

UG1-CV-R: Unidad Geotécnica 1(relleno antrópico/ suelo vegetal)

UG2-QAL: Unidad Geotécnica 2(depósito aluvial cuaternario)

UG3-QC: Unidad Geotécnica 3(coluvial cuaternario)

UG4-QL: Unidad Geotécnica 4(depósito de ladera y/o posible lahar cuaternario)

UG5-QT: Unidad Geotécnica 5 (terrazza aluvial pleistoceno)

WL: Límite Líquido

WP: Límite Plástico

IP: Índice de Plasticidad

MA: Muestra Alterada

TP: Testigo Parafinado

S 1, 2 y 3: Sondeo 1, 2 y 3

C 1, 2 y 3: Calicata 1, 2 y 3

5.5 Unidades geotécnicas

La finalidad de definir unidades geotécnicas es de caracterizar los materiales geo-mecánicamente de la zona de estudio, como se muestra en la figura 22y 23.

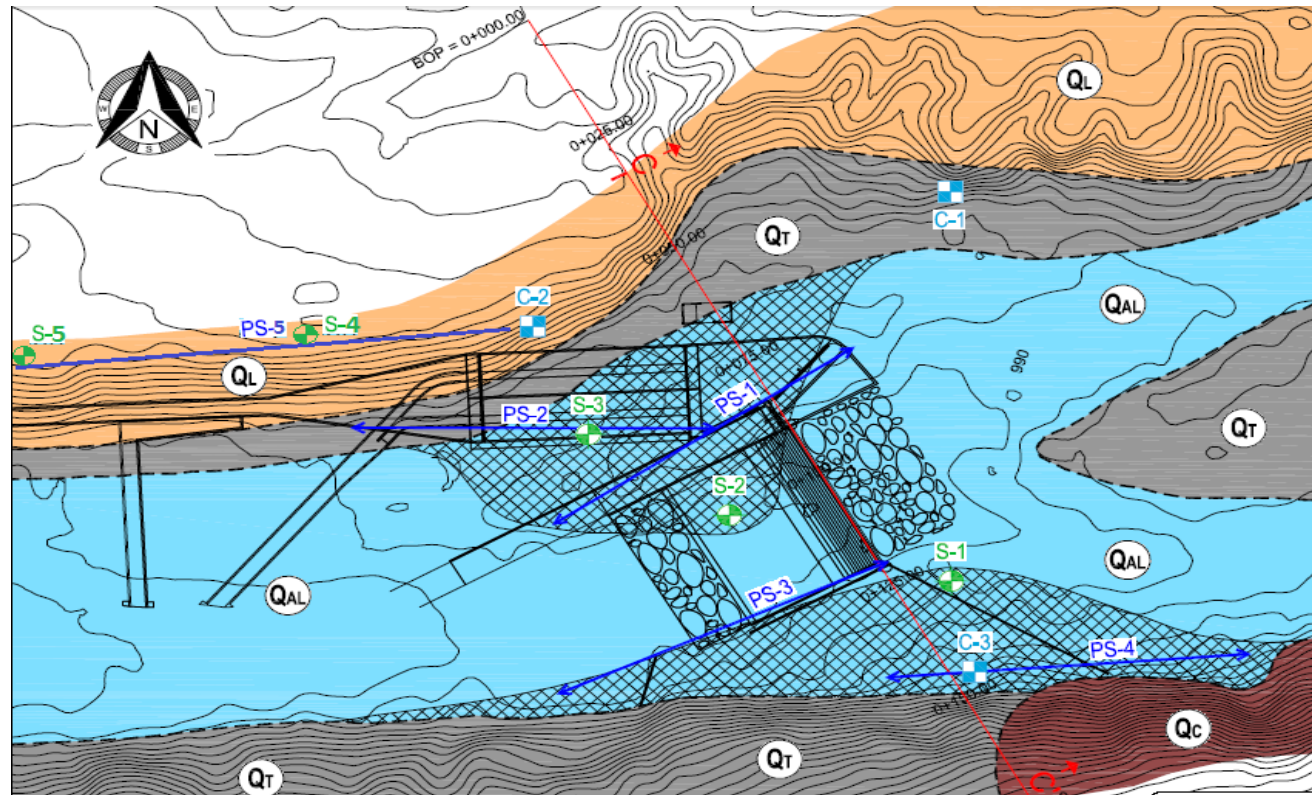


Figura 22. Unidades geotécnicas en planta

Fuente: ECURSEVI, 2014

(Referirse a plano topográfico en Anexo 6)

Donde:

QAL: Aluvial Cauternario (Bloques Rocosos heterométricos en matriz arenosa con finos)

QC: Coluvial cuaternario (Depósito caótico de bloques, cantos y arena)

QL: Depósito de ladera y/o posible lahar cuaternario (Suelos residuales y paleosuelos de movimientos gravitacional. Arenas con gravas)

QT: Terraza aluvial pleistoceno (Bloques rocosos en matriz arenosa con finos parcial o totalmente cementados)

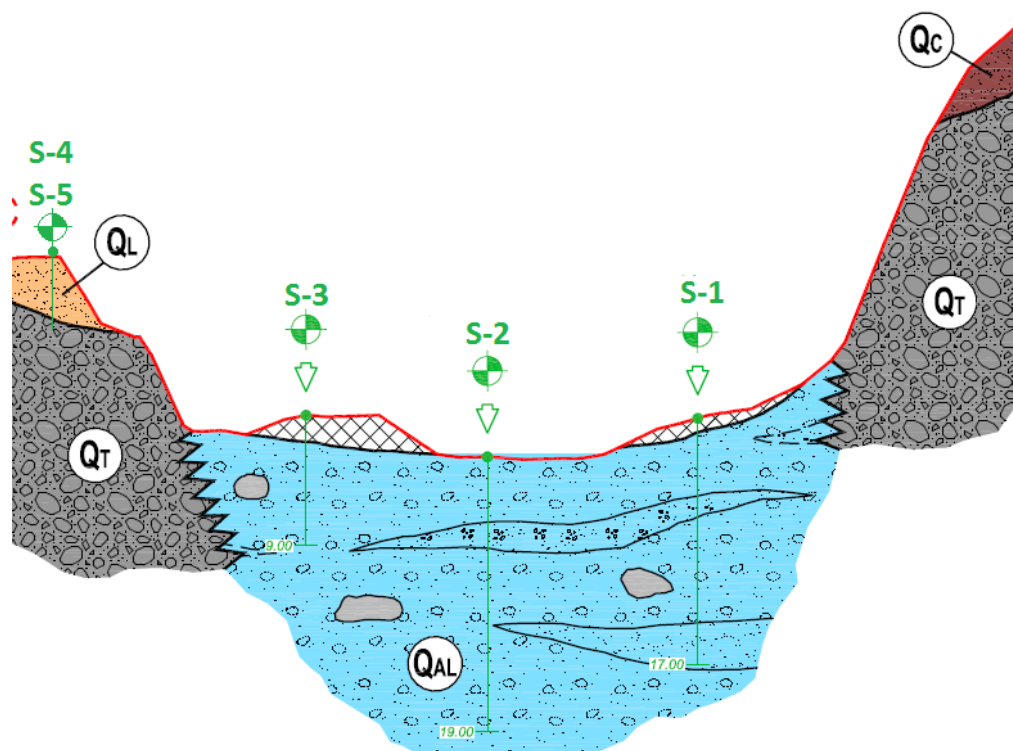


Figura 23. Unidades geotécnicas en perfil

Fuente: ECURSEVI, 2014

(Referirse a plano topográfico en Anexo 6)

Donde:

QAL: Aluvial Cauternario (Bloques Rocosos heterométricos en matriz arenosa con finos)

QC: Coluvial cuaternario (Depósito caótico de bloques, cantos y arena)

QL: Depósito de ladera y/o posible lahar cuaternario (Suelos residuales y paleosuelos de movimientos gravitacional. Arenas con gravas)

QT: Terraza aluvial pleistoceno (Bloques rocosos en matriz arenosa con finos parcial o totalmente cementados)

Unidad Geotécnica 1: relleno antrópico/ suelo vegetal

Acotación de la Unidad Geotécnica.

Este nivel empieza desde la superficie de estudio en campo, expuestas a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 12. Espesores de la UG-1

ENSAYO	PROFUNDIDAD DE TECHO (m)	PROFUNDIDAD DE MURO (m)	ESPESOR (m)
S-1	0,00	0,30	0,30
S-2	0,00	1,00	1,00
S-3	0,00	2,00	2,00
S-4	0,00	0,50	0,50
S-5	0,00	0,50	0,50
C-1	0,00	0,50	0,50
C-2	0,00	0,20	0,20
C-3	0,00	0,50	0,50

Fuente: (ANDRÉS ALEJANDRO VELÁSQUEZ COBO, 2015)

Descripción e identificación. Estado natural

Litológicamente es una capa vegetal que en ocasiones muestra restos antrópicos, de características limos arenosos a arenas limosas de color marrón oscuro a negro, de alto contenido de materia orgánica y una consistencia blanda a muy blanda (ECURSEVI, 2014).

Unidad Geotécnica 2: depósito aluvial cuaternario

Bloques Rocosos heterométricos en matriz arenosa con finos (Q_{AL})

Este estrato se compone de los materiales depositados en el río, donde encontramos cantos métricos y centimétricos subangulosos-subredondeados de origen granodiorítico y basáltico, como resultado de la denudación aguas arriba del área madre con escasas distancias que dan lugar a sedimentos comparativamente inmaduros.

Estos materiales se encuentran clasto soportado y matriz soportado. Las épocas de menor pluviosidad dan lugar a depósitos más finos que forman la matriz de estos depósitos y los momentos con mayor pluviosidad los responsables del transporte de bloques de mayor tamaño, ayudados de forma puntual por flujos laharíticos

Por lo tanto esta unidad presenta una amplia heterogeneidad, que se ha podido comprobar en los tres sondeos realizados en el cauce del río (ECURSEVI, 2014).

Unidad Geotécnica 3: coluvial cuaternario

Depósito caótico de bloques, cantos y arena (Q_c)

En la margen izquierda se presenta coluviales matriz soportada constituida de limos con una ocupación del 50 al 70 %, de plasticidad media, con cantos sub-angulosos métricos y decimétricos mal gradados con raíces de techo a muro, con una potencia de hasta 2m. Sobre la capa vegetal se ha desarrollado una vegetación densa, mismas que contribuyen a la estabilidad de la ladera. A este material subyace una capa de aluvial antigua diferenciada como terraza aluvial QT (ECURSEVI, 2014).

Unidad Geotécnica 4: depósito de ladera y/o posible lahar cuaternario

Suelos residuales y paleosuelos de movimientos gravitacional. Arenas con gravas (Q_L)

Otro tipo de depósito de ladera en este caso lo encontramos en la margen derecha aguas abajo. Arena limosa limo arenoso con mayor contenido en materia orgánica. Se trata de suelos residuales y paleosuelos formados a cotas superiores que van descendiendo a favor de pendiente en forma de coladas de barro.

Se puede apreciar un ejemplo en la margen derecha suprayacente a la terraza QT, depósito homogéneo de arenas granodioritas con algo de limo de origen residual del batolito que han sido transportados gravitacionalmente (ECURSEVI, 2014).

Unidad Geotécnica 5: terraza aluvial pleistoceno

Bloques rocosos en matriz arenosa con finos parcial o totalmente cementados (Q_T)

Este nivel, al igual que el aluvial reciente, encontramos cantos de orden métrico subangulosos-subredondeados de origen basáltico y granodiorítico como consecuencia de la denudación del área madre localizada aguas arriba. Las escasas distancias dan lugar a sedimentos relativamente inmaduros y según la zona se encuentra total o parcialmente cementado.

Se encuentran tanto clasto soportados como matriz soportados y aunque de forma intercalada, también tenemos flujos laharíticos en estas terrazas Pleistocenas (ECURSEVI, 2014).

5.6 Valores obtenidos por SPT, Lefrank, ensayos de laboratorio y Tomografía Sísmica de Refracción

Para obtener datos mecánicos y físicos mediante correlaciones con los diferentes ensayos aplicados en campo y laboratorio y poder compararlos, se propone las siguientes correlaciones para la obtención de datos.

5.6.1 Metodología de cálculo:

Parámetros con el SPT:

- Se utiliza la correlación del N60 para obtener en ángulo de fricción:

Hatanaka and Uchida (1996) provided a simple correlation between ϕ' and $(N_1)_{60}$ that can be expressed as

$$\phi' = \sqrt{20(N_1)_{60}} + 20$$

- Cálculo del módulo de elasticidad(Es):

Se estima por tablas y ecuaciones presentadas en el libro “Principios de Ingeniería en Cimentaciones”, Cuarta Edición, Braja M. Das, y “Foundation Analysis and Design”, de Joseph E. Bowles, e Ishibashi y Hazarika, Soil Mechanics Fundamentals, 2010:

Tabla 14 Estimación de la relación de Poisson (Constante elástica que relaciona el estrechamiento o alargamiento perpendicular a la dirección de la fuerza aplicada)

Tipo de suelo	Módulo de elasticidad, E_s		Relación de Poisson, μ_s
	lb/pulg ²	MN/m ²	
Arena suelta	1,500–3,500	10.35 – 24.15	0.20–0.40
Arena densa media	2,500–4,000	17.25 – 27.60	0.25–0.40
Arena densa	5,000–8,000	34.50 – 55.20	0.30–0.45
Arena limosa	1,500–2,500	10.35 – 17.25	0.20–0.40
Arena y grava	10,000–25,000	69.00 – 172.50	0.15–0.35
Arcilla suave	600–3,000	4.1 – 20.7	
Arcilla media	3,000–6,000	20.7 – 41.4	0.20–0.50
Arcilla firme	6,000–14,000	41.4 – 96.6	

Fuente: (Bowles, 1996)

Tabla 15 Estimación de módulo de elasticidad (Parámetro que define el comportamiento elástico de un material, en dirección de la fuerza aplicada)

Soil	SPT	CPT
Sand (normally consolidated)	$E_s = 500(N + 15)$ $= 7000 \sqrt{N}$ $= 6000N$ <hr/> $\dagger E_s = (15\,000 \text{ to } 22\,000) \cdot \ln N$	$E_s = (2 \text{ to } 4)q_u$ $= 8000 \sqrt{q_c}$ <hr/> $E_s = 1.2(3D_r^2 + 2)q_c$ $*E_s = (1 + D_r^2)q_c$
Sand (saturated)	$E_s = 250(N + 15)$	$E_s = F q_c$ $e = 1.0 \quad F = 3.5$ $e = 0.6 \quad F = 7.0$
Sands, all (norm. consol.)	$\P E_s = (2600 \text{ to } 2900)N$	
Sand (overconsolidated)	$\dagger E_s = 40\,000 + 1050N$ $E_{s(\text{OCR})} \approx E_{s,\text{nc}} \sqrt{\text{OCR}}$	$E_s = (6 \text{ to } 30)q_c$
Gravelly sand	$E_s = 1200(N + 6)$ $= 600(N + 6) \quad N \leq 15$ $= 600(N + 6) + 2000 \quad N > 15$	
Clayey sand	$E_s = 320(N + 15)$	$E_s = (3 \text{ to } 6)q_c$
Silts, sandy silt, or clayey silt	$E_s = 300(N + 6)$	$E_s = (1 \text{ to } 2)q_c$
	If $q_c < 2500$ kPa use $^{\S} E'_s = 2.5q_c$ 2500 < q_c < 5000 use $E'_s = 4q_c + 5000$ where $E'_s = \text{constrained modulus} = \frac{E_s(1 - \mu)}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)} = \frac{1}{m_v}$	
Soft clay or clayey silt		$E_s = (3 \text{ to } 8)q_c$

Fuente: (Bowles, 1996)

Ranges of Modulus of Elasticity of Soils

Soil		Modulus of Elasticity, MPa
Clay	Very soft	2-15
	Soft	5-25
	Medium	15-50
	Hard	50-100
Glacial till	Sandy	25-250
	Loose	10-150
	Dense	150-720
	Very dense	500-1440
Loess		15-60
Sand	Silty	5-20
	Loose	10-25
	Dense	50-81
Sand and gravel	Loose	50-150
	Dense	100-200
Shale		150-5000
Silt		2-20

Source: After Bowles, J. E. (1996). *Foundation Analysis and Design* (3rd ed.), McGraw-Hill, New York.

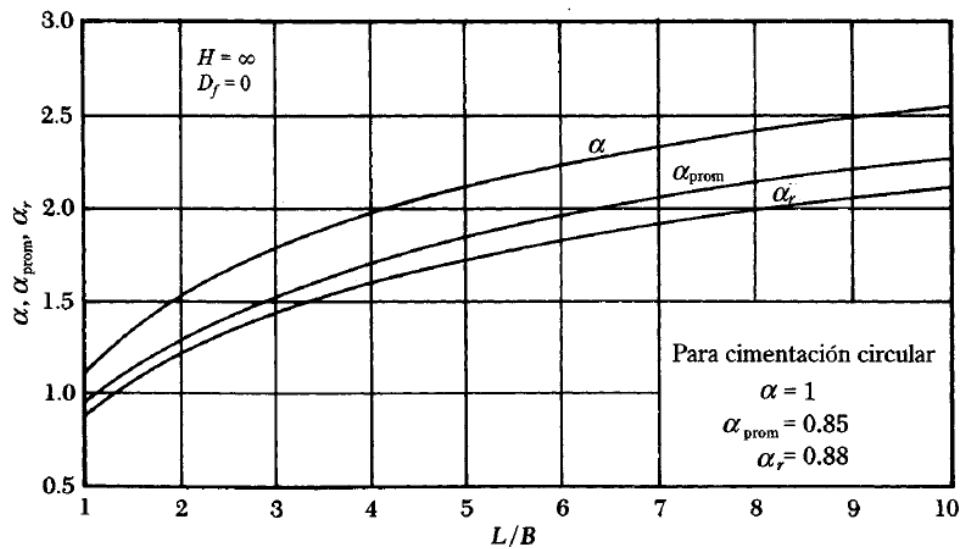


Figura 24 Módulo de Rigidez

Fuente: (Bowles, 1996)

Sísmica de refracción:

- Para fines comparativos se utiliza una correlación para obtención del N del SPT con la V_p , deducido por I.G Mindel de Ucrania

$$N = 0.0284 V_p - 7.6 \quad \frac{\text{golpes}}{\text{dm}}$$

- En el caso de la densidad natural del suelo se utiliza la siguiente formula por Schulze(1943), transformadas las unidades a T/m3 o gr/cm3 :

$$\gamma = \gamma_o + 0.002 Vp$$

Dónde:

(γ)Peso específico (KN/m^3)

(Vp) Velocidad de la onda "P" (m/s)

(γ_o) Los valores de peso volumétrico (KN/m^3) de referencia están dados a continuación:

(γ_o)	Especificaciones
$\gamma_o = 16$	Suelo arenoso
$\gamma_o = 17$	Arena densa y grava

- En el caso de no tener la Velocidad de onda p o el dato de un ensayo de laboratorio para determinar el peso específico o densidad natural del suelo se puede calcular mediante Nspt como se muestra la tabla 7, subíndice 4.2.
- Para el cálculo de la Vs y de manera conservadora utilizamos (C.LTDA, 1999):

$$Vs=0.48*Vp$$

- En el caso del cálculo del módulo dinámico (Edin) es una de las contantes en la solución de la ecuación parcial de segundo orden que explica el comportamiento de una onda elástica en el semiespacio elástico (C.LTDA, 1999).

$$Edin = \frac{(1 + u)(1 - 2u)Pesf * Vp^2}{(1 - u) * g}$$

- Módulo de Poisson (C.LTDA, 1999):

$$u = \frac{(Vp^2 - 2Vs^2)}{2 * (Vp^2 - Vs^2)}$$

- Módulo de Elasticidad (C.LTDA, 1999):

$$E = 0.97 * \frac{\left(\frac{Edin}{(Edin \max)} \right)^{0.141}}{1} * Edin$$

$$Edin \text{ máx} = 1.3 * 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

- Módulo edométrico (Edo) (C.LTDA, 1999):

$$Edo=0.05 \cdot E+70$$

- Asentamiento (C.LTDA, 1999):

$$S_{\max}=q \cdot B(1-u^2)/Edo$$

En la siguiente tabla se comparan valores obtenidos con los diferentes métodos de ensayos en campo y correlaciones utilizadas para obtener tanto características mecánicas como físicas:

Tabla 13.Tabla comparativa

COTA msnm			Profundidad de ensayo			Tomografía sísmica de refracción							Lefrank	ENSAYOS EN LABORATORIO			SPT					
	1001	SUCS	DE	A	PRO F m	Vp (m/s)	Nc	Edin kg/cm2	Eelast kg/cm2	Eedo	u	Peso específico	K m/s	φ'	c	densidad gr/cm3	N	(N1) 60	φ'	Peso específico	Eelast kg/cm2	
	999	SM	1,5	2	2	500	7	2752	1120	126,01	0,35	1,73				1,9	4	3,7	28,6	1,43	50,84	
	998,5				2,5	500	7	2752	1120	126,01	0,35	1,73				1,9						
	998	SM	2,5	3	3	500	7	2752	1120	126,01	0,35	1,73				1,9	24	18	39,2	1,73	104,35	
	997,5				3,5	500	7	2752	1120	126,01	0,35	1,73				1,9						
	997	SM	3,5	4	4	500	7	2752	1120	126,01	0,35	1,73		16,57	4,88	1,9	29	22	41	1,83	117,73	
	996,5				4,5	500	7	2752	1120	126,01	0,35	1,73				1,9						
	996	SM	4,5	5	5	500	7	2752	1120	126,01	0,35	1,73				1,9						
	995,5	SM	5	5,5	5,5	500	7	2752	1120	126,01	0,35	1,73				1,9	22	17	38,3	1,73	99,00	
	995				6	500	7	2752	1120	126,01	0,35	1,73				1,9						
	994,5	SM	6	6,5	6,5	750	14	6373	2921	216,03	0,35	1,78				1,9	26	20	39,9	1,83	109,70	
	994				7	750	14	6373	2921	216,03	0,35	1,78				1,9						
	993,5	SM	7	7,5	7,5	750	14	6373	2921	216,03	0,35	1,78		16,86	0	1,9	21	16	37,8	1,73	96,32	
	993				8	750	14	6373	2921	216,03	0,35	1,78				1,9						
	992,5	SM	8	8,5	8,5	750	14	6373	2921	216,03	0,35	1,78				1,9	13	9,9	34	1,73	74,92	
	992				9	750	14	6373	2921	216,03	0,35	1,78		21,36	2,67	1,7						
	991,5	SM	9	9,5	9,5	750	14	6373	2921	216,03	0,35	1,78		21,01	0,04	1,7						
	991				10	750	14	6373	2921	216,03	0,35	1,78				1,7						
	990,5	SM	10,5	10,5	10,5	1200	26	17155	9039	521,96	0,35	1,88				1,7	50	38	47,4	2,14	173,92	
	990				11	1200	26	17155	9039	521,96	0,35	1,88				1,7						
	989,5	SM	11,5	11,5	11,5	1200	26	17155	9039	521,96	0,35	1,88				1,7	35	26	42,9	2,04	133,78	
	986	AL			15	750		6373	2921	216,03	0,35	1,78	1,33E-05									
	985	AL			16	750		6373	2921	216,03	0,35	1,78										
	984	AL			17	750		6373	2921	216,03	0,35	1,78										
	983				18	750		6373	2921	216,03	0,35	1,78										
	982	AL			19	1200		17155	9039	521,96	0,35	1,88	1,50E-06									
	981	AL			20	1200		17155	9039	521,96	0,35	1,88										
	980	AL			21	1200		17155	9039	521,96	0,35	1,88										
	979	AL			22	1500		27678	15602	850,10	0,35	1,94										
	978	AL			23	1500		27678	15602	850,10	0,35	1,94	5,43E-09									
	977	AL			24	1500		27678	15602	850,10	0,35	1,94										
	976	AL			25	1750		38664	22847	1212,34	0,35	1,99										
	975	AL			26	1750		38664	22847	1212,34	0,35	1,99										
	974	AI			27	1750		38664	22847	1212,34	0,35	1,99										

Fuente: ANDRÉS ALEJANDRO VELÁSQUEZ COBO, 2015

Donde:

Nc: Número de golpes del Nspt, obtenido de la velocidad de ondas p (Vp)

Vp: Velocidad de ondas p

Tabla 14. Tabla comparativa de compacidad obtenido por el Nspt y las velocidades P

	1001	SUCS	DE	A	PROF m	Vp (m/s)	Nspt	N70	Peso específico	Compacidad según el N70
	999	SM	1,5	2	2	500	4	4	1,43	Suelto
	998,5				2,5	500				
	998	SM	2,5	3	3	500	24	21	1,73	Denso
	997,5				3,5	500				
	997	SM	3,5	4	4	500	29	26	1,83	Denso
	996,5				4,5	500				
	996	SM	4,5	5	5	500				
	995,5	SM	5	5,5	5,5	500	22	20	1,73	Denso
	995				6	500				
	994,5	SM	6	6,5	6,5	750	26	23	1,83	Denso
	994				7	750				
	993,5	SM	7	7,5	7,5	750	21	19	1,73	Medio
	993				8	750				
	992,5	SM	8	8,5	8,5	750	13	11	1,73	Medio
	992				9	750				
	991,5	SM	9	9,5	9,5	750				
	991				10	750				
	990,5	SM	10,5	10,5	10,5	1200	50	44	2,14	Muy denso
	990				11	1200				
	989,5	SM	11,5	11,5	11,5	1200	35	31	2,04	Denso

Fuente: ANDRÉS ALEJANDRO VELÁSQUEZ COBO, 2015

Tabla 15. Tabla comparativa de permeabilidad y las velocidades P

COTA msnm		SUCS	PROF m	Vp (m/S)	Lefrank
	1001				K m/s
	986	AL	15	750	0.0000133
	985	AL	16	750	
	984	AL	17	750	
	983		18	750	
	982	AL	19	1200	0.0000015
	981	AL	20	1200	
	980	AL	21	1200	
	979	AL	22	1500	
	978	AL	23	1500	5.43E-09
	977	AL	24	1500	
	976	AL	25	1750	
	975	AL	26	1750	
	974	AL	27	1750	

Fuente: ANDRÉS ALEJANDRO VELÁSQUEZ COBO, 2015

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Los suelos de la Central Hidroeléctrica Palmira con ensayos tomografía sísmica de refracción y correlación con perforaciones, pozos abiertos, afloramientos antrópicos y ensayos en laboratorio, consta de una capa vegetal o rellenos antrópicos, propuesta como Unidad Geotécnica 1. Suelos limos arenosos, arenas limosas con ciertas intercalaciones de arena, ubicadas en ladera, en la margen derecha del río, nombrada como Unidad Geotécnica 4 (depósito de ladera y/o posible lahar cuaternario). Coluviales de matriz limos arenosos y limos de alta plasticidad, ubicadas en ladera, en la margen izquierda del río, llamada como Unidad Geotécnica 3 (coluvial cuaternario). Subyace a la Unidad Geotécnica 3 y la Unidad Geotécnica 4 una capa identificado como terrazas, ubicada tanto en la margen derecha como izquierda, nombrada como Unidad Geotécnica 5 (terrazza aluvial pleistoceno). Finalmente en el lecho del río, podemos identificar aluviales de menor a mayor consolidación a muro, llamadas Unidad Geotécnica 2 (depósito aluvial cuaternario).
- La tomografía sísmica de refracción detecta tres estratos, que también son identificados con los métodos de prospección directa y geología local, con la diferencia que los afloramiento antrópicos y perforaciones se detectan intercalaciones de suelos más cohesivos en los suelos de origen geológico QL (Suelos residuales y paleosuelos de movimientos gravitacional)

- Identificado por el ensayo de perforación en campo y ensayos de clasificación SUCS en laboratorio se determina hasta una profundidad de 9.50 y 11.50m un estrato limo arenoso-arena limosa identificado como QL (Suelos residuales y paleosuelos de movimientos gravitacional. Arenas con gravas) y a partir de 9.50 y 11.50m la terraza con cantos y matriz arena limosa identificada como QT (Bloques rocosos en matriz arenosa con finos parcial o totalmente cementados). En la tomografía sísmica de refracción se observa el cambio de estrato a una profundidad promedio de 8 a 12m, con velocidades de ondas p (V_p) en el primer estrato de 500 a 1000 m/s, velocidad (V_p) perteneciente a un suelo según lo mencionado en el subíndice 2.6 donde el rango va desde 150 y 1000 m/s. A partir de 8 y 12 m promedio la sísmica detecta velocidades (V_p) superiores a 1500 m/s que por lo mencionado en el subíndice 2.6 entra en el rango de 1000 y 2500 m/s para gravas cementadas. Dicho lo anterior la tomografía sísmica de refracción puede tener un rango de inexactitud de 1.50 a 2.00 m para determinar la potencia de un estrato y es capaz de distinguir y caracterizar levemente entre un suelo de grano fino o medio y una roca o terrazas antigua. Si bien no es un método para un estudio definitivo, por sus limitaciones de exactitud, tiene validez para un estudio de pre factibilidad y tener una idea general de la zona.

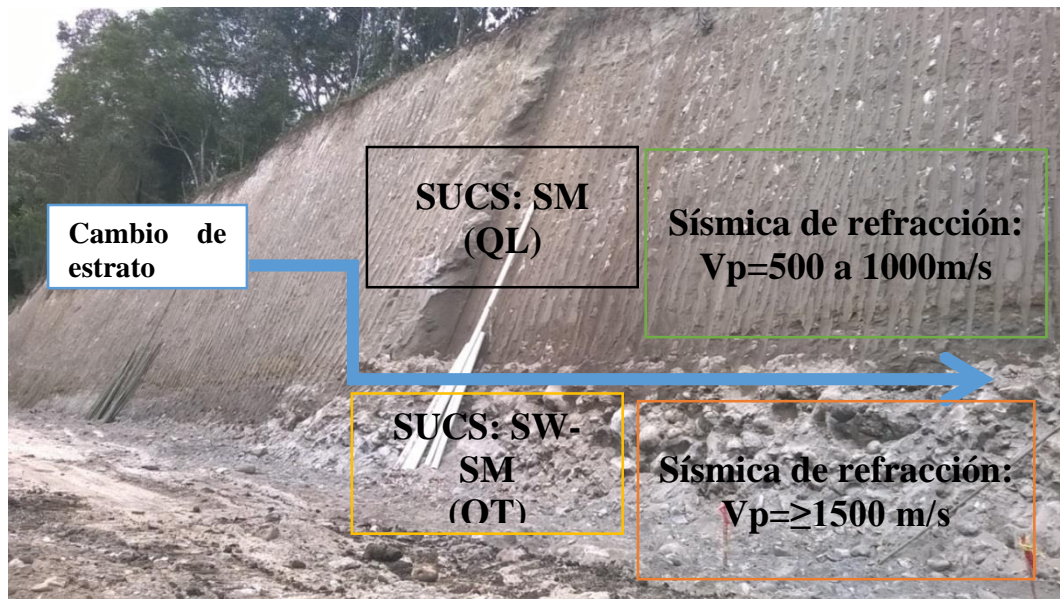


Figura 25. Materiales identificados en las prospecciones directas e indirectas
Fuente: ANDRÉS ALEJANDRO VELÁSQUEZ COBO, 2015

- Realizado el ensayo de SPT en campo metro a metro, el número de golpes nos indica una mayor o menor compacidad o densidad relativa, según tabla 7 del subíndice 4.2. Si comparamos los valores obtenidos por esta con las velocidades de onda p (V_p) de la sísmica de refracción, podemos establecer que existe una relación congruente entre ambas como se ve en la tabla 14, subíndice 5.6., identificado como denso a un material que tiene velocidades de ondas p (V_p) de 500 a 750 m/s y muy denso a partir de 1200 m/s. Se reitera en este caso que la sísmica de refracción no es capaz de identificar suelos de menor compacidad bajo un material de mayor rigidez, como se aprecia en la tabla 14, subíndice 5.6., en la cota 990.5 msnm, donde los golpes del N_{spt} bajan pero la velocidad de la sísmica de refracción sigue siendo constante.

- Al analizar la tabla 13, del subíndice 5.6, se concluye que a partir de la cota 986 msnm, donde los coeficientes de permeabilidad disminuyen a medida que aumenta la profundidad, y en cambio la velocidad de ondas p (V_p) símica es inversamente proporcional a la permeabilidad; como se puede observar en la tabla 15, subíndice 5.6.
- La densidad del suelo ha sido determinada por correlaciones de los diferentes trabajos de campo, como ensayos in situ de prospección directa e indirecta y mediante ensayos en laboratorio. Los parámetros se detallan en la tabla 13 del subíndice 5.6.1, donde podemos decir que siendo los ensayos de laboratorio el dato patrón y sobre este establecer una comparación, tanto el Spt como la símica de refracción guardan similitud con el dato patrón, con la diferencia que el Spt identifica densidades menores a profundidad, a diferencia de los datos obtenidos por la tomografía símica de refracción.
- El módulo de elasticidad ha sido determinado por correlaciones del Spt y tablas. Los parámetros mecánicos se detallan en la tabla 13 del subíndice 5.6.1, donde podemos decir que siendo los datos del Spt el dato patrón y sobre este establecer una comparación con la símica de refracción, decimos que los módulos de elasticidad obtenida por medio de la velocidad de onda p, llegan a ser valores muy altos y exagerados a la realidad, que al ser teorías de deformación muy pequeñas, son menos conservadoras que la obtenida por el Nspt que son deformaciones por ruptura y por ende deberían ser mayores.
- El número de golpes que se obtienen del ensayo SPT, ha sido determinado por correlaciones con la velocidad de ondas p (V_p) obtenidas del ensayo in situ tomografía símica de refracción y los valores llegan a estar distantes e

inferiores al real, aunque se podría decir que en todo caso son conservadores, para efectos de cálculo.

- La tomografía sísmica de refracción dentro de un estrato de suelo fino no distingue tipos de suelos, por lo que en este proyecto en específico no se distinguen capas intermedias como arenas, limos y arenas limosas. Ver imagen

26

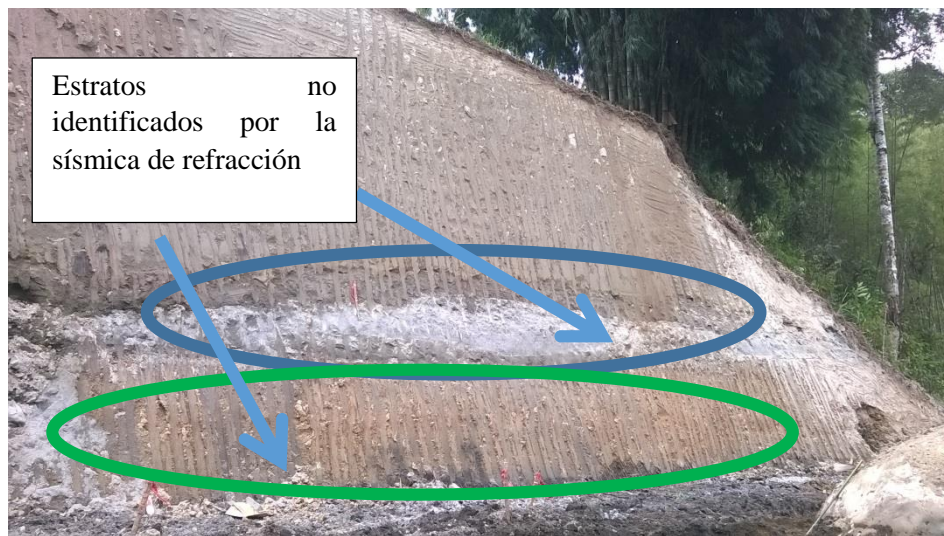


Figura 26. Imagen de estratos no identificados
Fuente: ANDRÉS ALEJANDRO VELÁSQUEZ COBO, 2015

- Sobre la ripabilidad, el material es fácil de excavar hasta 6 o 9 metros de profundidad.

6.2 Recomendaciones

- Por lo mencionado anteriormente en las conclusiones, la sísmica está bien para un estudio de prefactibilidad siempre y cuando este acompañado de una

prospección directa, pero no para un estudio definitivo. En todo caso podría ser utilizado cuando otros ensayos in situ sean difíciles de ser aplicados, como el SPT en un material aluvial.

- No es recomendable que el ensayo sea aplicado cuando hay mucho ruido exterior, ya que los días de lluvia, la ejecución del ensayo sísmica de refracción se tuvieron que repetir por razón de que las ondas fueron inciertas para la interpretación.
- Se asevera que cuando existe una capa de mayor densidad o dureza que esté por encima de otro de menor potencia, este no sería detectado, como se ve en la figura 26
- La topografía puede jugar un papel importante en la interpretación, que tiene que ser siempre incluida.
- El nivel freático puede incrementar en la velocidad de ondas P, por lo que hay que tener precaución y ser conservadores.

BIBLIOGRAFÍA

- DAS,BRAJA M., D. (2007). PRINCIPLES OF FOUNDATION ENGINEERING. ESTADOS UNIDOS.
- C.LTDA, C. D. (1999). INFORME GEOLÓGICO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DE LAS CIMENTACIONES DEL PUENTE SOBRE EL RIO CRUZADO. Milagro.
- CLIMATE-DATA.ORG. (n.d.). CLIMATE-DATA.ORG. Retrieved from <http://es.climate-data.org/location/180089/>
- ECURSEVI. (2014). PROYECTO HIDROELÉCTRICO PALMIRA. FASE I CONSTRUCCIÓN AZUD Y TOMA DE AGUA. NANEGAL.
- Geofísica Consultores. (n.d.). Retrieved from <http://www.geofisica-consultores.es/es/pdf/Ripabilidad%20del%20terreno.pdf>
- Jara, D. (2014, Septiembre 2). (A. Velásquez, Interviewer)
- Martínez, C. C. (2012). APLICACIÓN DE TÉCNICAS GEOFÍSICAS A LA INGENIERÍA GEOLÓGICA. INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOLOGÍA APLICADA. España.
- Pichincha, E. P. (2012). Empresas Públicas Pichincha. Retrieved from http://heq.com.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=49:palmira&catid=2:inf&Itemid=74
- Plaza, M. R. (2012). Ensayos "IN SITU". INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOLOGÍA APLICADA. España.

- Vallejo, L. I. (2012). INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOLOGÍA APLICADA. INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA GEOLÓGICA. España.

ANEXOS

ANEXO I: PERFILES DE SONDEOS

Escala 1:100	HWT	HQ	Manobra	Recuperación	Profundidad	Espesor	Estratigrafía	Descripción
1			-0.70	20.40/69.80	0.20	0.20		RELLENO ANTROPICO. SUELO.
2					1.00	0.80		ARENA LIMOSA VETAS CAFE OSCURO.
3						3.50		RELLENO ANTROPICO BLOQUE DE ROCA. GRANODIORITA SUBREDONDEADADE 1m COLOCADO PARA LA CONSTRUCCION DE LA PLATAFORMA DE SONDEO. ALUVIAL MUY RECIENTE.
4								GRAVAS ARENOSAS.
5			-4.20		4.50			-Cantos de hasta 10 cm poligénicos (cuarcita, basalto, granodiorita). -Matriz arena color gris gruesa a techo fino a muro. -Presenta muchas aristas y fragmentos milimétricos de roca. -Probablemente no es muy transportada.
6			-5.00		6.00	1.50		ALUVIAL GRAVAS MATRIZ DE ARENA MUY FINA. -Estructura clasto soportada. -Cantos de hasta 20 cm poligénicos (basalto, granodiorita).
7			-6.00					ALUVIAL GRAVAS ARENOSAS.
8			-7.70			5.50		-Cantos de basalto y granodiorita poco alterados de hasta 10 cm. -Matriz arenosa fina a techo gruesa a muro. -Color gris. -Arenas no muy transportadas. -Presentan muchas aristas de fragmento rocoso.
9								
10								
11			-11.50		11.50			ALUVIAL GRAAS DE ESTRUCTURA CLASTO SOPORTADA. -Cantos poligenicos. -Matriz areno gruesa a techo fina a muro color gris.
12								ALUVIAL GRAVAS CANTOS POLIGENICOS DE HASTA 6 cm EN UNA MATRIZ LIMO-ARENOSA COLOR GRIS OSCURO A NEGRO.
13						3.00		-Estructura matriz soportada. -Suelos muy confinados.
14					14.50	.50		-Presencia de materia orgánica. -Troncos centimétricos que no presentan signos de descomposición porque no les llega oxígeno. -Materia orgánica toncos de aliso.

OBSERVACIONES: MT: Muestra Inalterada a Presión o Percusión. MA: Muestra Alterada. TP: Testigo. ³⁰⁰Parafinado.
PERFORACIÓN: B: Batería sencilla; r: Batería doble; R: Batería triple; w: widia; d: Diamante; entre paréntesis diámetro ext. (mm).
CAJAS DE SONDEO: 6
GOLPEOS:

[illegible]

N° DE ORDEN : S 2817

OBRA : Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira

LOCALIZACIÓN : Nanegal

SOLICITADO POR : Andrés Velásquez

FECHA : 06/02/2015

SONDEO N° : P5

PROFUNDIDAD TOTAL : 11,50 m

NIVEL FREÁTICO : NO SE DETECTA

COTA DEL NIVEL NATURAL DEL TERRENO (m) : 0,00

HOJA : 1/2

MARTILLO UTILIZADO : Tipo donnut
DIAMETRO DE LA TUBERÍA : 75 mm

ENERGÍA TEÓRICA DEL ENSAYO : 475 J
PORCENTAJE DE ENERGÍA ENTREGADA : 45 %

PROFUNDIDAD (metros)	COTA	CONTENIDO DE HUMEDAD	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	% QUE PASA EL TAMIZ N° 4	% QUE PASA EL TAMIZ N° 40	% QUE PASA EL TAMIZ N° 200	CLASIFICACIÓN SUCS	NÚMERO DE GOLPES DEL SPT	ESTRATIGRAFÍA	N corregido (45)							VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD, LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO				DESCRIPCIÓN MANUAL-VISUAL DEL SUELO		
												10	20	30	40	50	R	5	15	25	35				
1,5	-1,50	14	NP	NP	NP	99	84	49	SM	4															De 1,50 a 2,00 .- Arena limosa con poca plasticidad.
2,5	-2,50	14								24															De 2,50 a 3,00 .- Arena fina a media limosa con poca plasticidad.
3,5	-3,50	16	NP	NP	NP	100	84	49	SM	29															De 3,50 a 4,00 .- Arena limosa con poca plasticidad.
4,5	-4,50	16																							De 4,50 a 5,00 .- SHELBY
5,0	-5,00	18	NP	NP	NP	100	83	48	SM	24															De 5,00 a 5,50 .- Arena limosa poca plasticidad y poca humedad.
6,0	-6,00	23								26															De 6,00 a 6,50 .- Arena media a gruesa no plastica con humedad.
7,0	-7,00	21	NP	NP	NP	100	79	43	SM	21															De 7,00 a 7,50 .- Arena limosa no plastica.
8,0	-8,00	27								13															De 8,00 a 8,50 .- Arena con limo con bastante oxidación.
9,0	-9,00	21	NP	NP	NP	100	76	23	SM																De 9,00 a 9,50 .- SHELBY
10,0	-10,00	10								60															De 10,00 a 10,50 .- Muro con bastante oxidación y algo de humedad.

SIMBOLOGÍA :

ML	
ML - CL	
MH	

CL	
CH	

ROCA	
GRAVA	
ARENA	



NIVEL FREÁTICO

NIVEL DE CIMENTACIÓN



LÍMITE PLÁSTICO



CONTENIDO DE HUMEDAD



LÍMITE LÍQUIDO

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Jorge Albuja
RESPONSABLE DEL ÁREA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
Ing. Guillermo Realpe M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

N° DE ORDEN : S 2817

OBRA : Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira

LOCALIZACIÓN : Nanegal

SOLICITADO POR : Andrés Velásquez

FECHA : 06/02/2015

SONDEO N° : P5

PROFUNDIDAD TOTAL : 11,50 m

NIVEL FREÁTICO : NO SE DETECTA

COTA DEL NIVEL NATURAL DEL TERRENO (m) : 0,00

HOJA : 2/2

MARTILLO UTILIZADO : Tipo donnut

DIAMETRO DE LA TUBERÍA : 75 mm

ENERGÍA TEÓRICA DEL ENSAYO : 475 J

PORCENTAJE DE ENERGÍA ENTREGADA : 45 %

PROFUNDIDAD (metros)	COTA	CONTENIDO DE HUMEDAD	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	% QUE PASA EL TAMIZ N° 4	% QUE PASA EL TAMIZ N° 40	% QUE PASA EL TAMIZ N° 200	CLASIFICACIÓN SUCS	NÚMERO DE GOLPES DEL SPT	ESTRATIGRAFÍA	N corregido (45)	VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD, LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO	DESCRIPCIÓN MANUAL-VISUAL DEL SUELO
												10 20 30 40 50 R	5 10 15 20	
11,0	-11,00	18	NP	NP	NP	85	29	8	SW-SM	35				De 11,00 a 11,50 .- Arena bien graduada con arcilla.
12,0	-12,00													De 12,00 a 12,50 .-
13,0	-13,00													De 13,00 a 13,50 .-
14,0	-14,00													De 14,00 a 14,50 .-
15,0	-15,00													De 15,00 a 15,50 .-
16,0	-16,00													De 16,00 a 16,50 .-
17,0	-17,00													De 17,00 a 17,50 .-
18,0	-18,00													De 18,00 a 18,50 .-
19,0	-19,00													De 19,00 a 19,50 .-
20,0	-20,00													De 20,00 a 20,50 .-

SIMBOLOGÍA:

ML	
ML - CL	
MH	

CL	
CH	

ROCA	
GRAVA	
ARENA	



NIVEL FREÁTICO



NIVEL DE CIMENTACIÓN



LÍMITE PLÁSTICO



CONTENIDO DE HUMEDAD



LÍMITE LÍQUIDO

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Jorge Albuja
RESPONSABLE DEL ÁREA



N° DE ORDEN : S 2817

OBRA : Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira

LOCALIZACIÓN : Nanegal

SOLICITADO POR : Andrés Velásquez

FECHA : 06/02/2015

SONDEO N° : P4

PROFUNDIDAD TOTAL : 9,50 m

NIVEL FREÁTICO : NO SE DETECTA

COTA DEL NIVEL NATURAL DEL TERRENO (m) : 0,00

HOJA : 1/1

MARTILLO UTILIZADO : Tipo donnut
DIAMETRO DE LA TUBERÍA : 75 mm

ENERGÍA TEÓRICA DEL ENSAYO : 475 J
PORCENTAJE DE ENERGÍA ENTREGADA : 45 %

PROFUNDIDAD (metros)	COTA	CONTENIDO DE HUMEDAD	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	% QUE PASA EL TAMIZ N° 4	% QUE PASA EL TAMIZ N° 40	% QUE PASA EL TAMIZ N° 200	CLASIFICACIÓN SUCS	NÚMERO DE GOLPES DEL SPT	ESTRATIGRAFÍA	N corregido (45)							VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD, LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO	DESCRIPCIÓN MANUAL-VISUAL DEL SUELO			
												10	20	30	40	50	R	0			25	50	
1,0	-1,00	20								8													De 1,00 a 1,50 - Arcilla limosa con arena fina y algo de oxidación.
2,0	-2,00	17	NP	NP	NP	100	86	53	ML	11													De 2,00 a 2,50 - Limo arenoso
3,0	-3,00	16								15													De 3,00 a 3,50 - Arena fina limosa con algo de arena media.
4,0	-4,00	18	NP	NP	NP	100	85	51	ML														De 4,00 a 4,50 - SHELBY
5,0	-5,00	18								19													De 5,00 a 5,50 - Arena limo arcillosa, poco húmeda y vetas de oxidación.
6,0	-6,00	19	NP	NP	NP	100	81	43	SM	22													De 6,00 a 6,50 - Arena limosa.
7,0	-7,00	23								18													De 7,00 a 7,50 - Arena media y muy limosa poca plasticidad húmeda.
8,0	-8,00	24	NP	NP	NP	99	79	44	SM	15													De 8,00 a 8,50 - Arena limosa con poca plasticidad.
9,0	-9,00	13																					De 9,00 a 9,50 - SHELBY
10,0	-10,00																						De 10,00 a 10,50 -

SIMBOLOGÍA :

ML	
ML - CL	
MH	

CL	
CH	

ROCA	
GRAVA	
ARENA	



NIVEL FREÁTICO

NIVEL DE CIMENTACIÓN



LÍMITE PLÁSTICO



CONTENIDO DE HUMEDAD



LÍMITE LÍQUIDO

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Jorge Albuja
RESPONSABLE DEL ÁREA

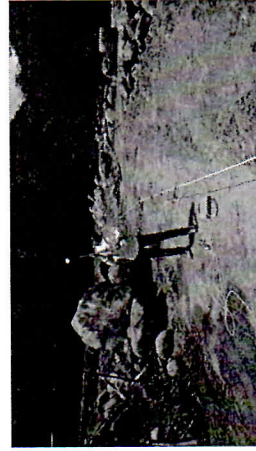
Ing. Guillermo Realpe M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

ANEXO II: PERFILES DE CALICATAS

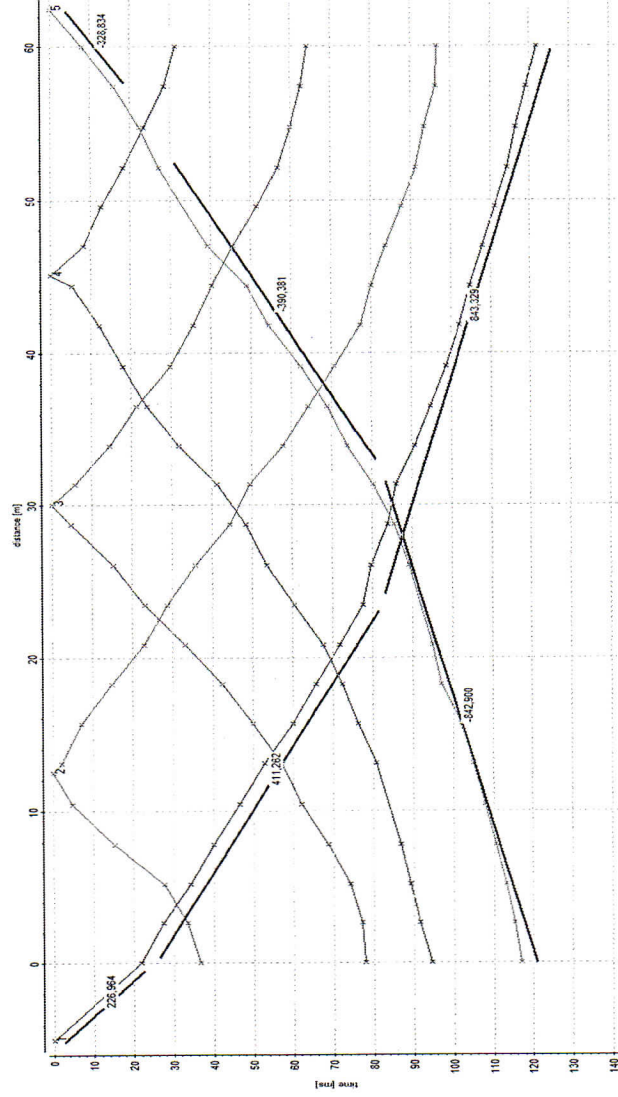
ANEXO III: PERFILES SISMICOS

Peticionario:	CONSTRUCTORA NACIONAL S.A	Equipo:	SUMMIT COMPACT II	COORDENADAS UTM (DATUM WGS - 84)	
Obra:	PROYECTO HIDROELÉCTRICO PALMIRA	Nº de geófonos:	24	INICIO	
Situación:	CUENCA DEL RÍO ALAMBI, NANEGAL, PICHINCHA	Longitud de la línea:	60	X: 17375	Y: 758013
Fecha:	23 AGOSTO DE 2014	Orientación de la línea:	SW-NE	FIN	
Técnico:	DIEGO JAMIL JARA	Distancia entre geófonos:	2,5 m	X: 17339	Y: 757981
		Distancia fuente-primer receptor:	2,5 m		
		Estaciones de golpeo:	5		
		Tipo de fuente:	MAZA 6,0 Kg		

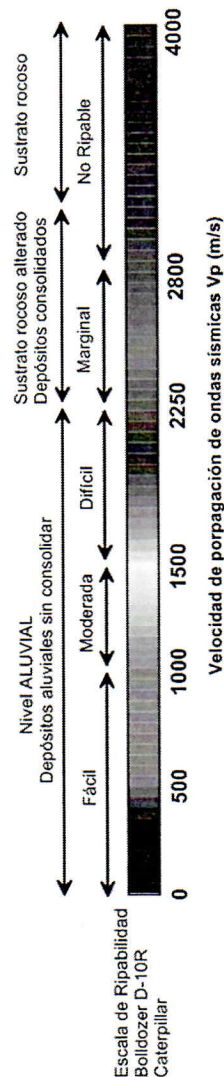
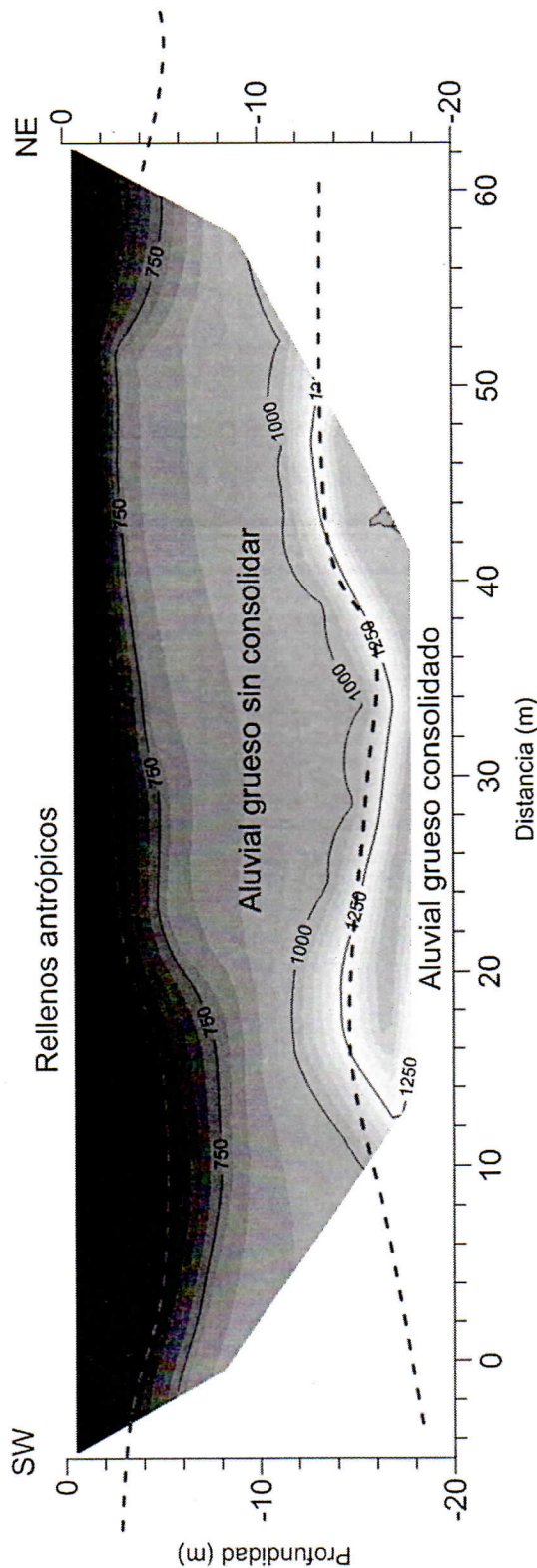
FOTOGRAFÍAS



GRÁFICA DE DROMOCRONAS



MODELO SÍSMICO DEL TERRENO

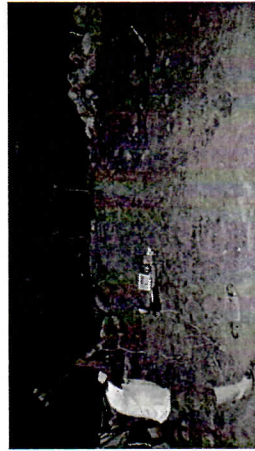


CLIENTE	CONSULTOR	TÍTULO DEL PROYECTO	FECHA	ESCALA:	DENOMINACIÓN DEL DIBUJO:	PLANO
			SEPTIEMBRE 2014			
			IDENTIFICACIÓN 40053440			
CONSTRUCTORA NACIONAL S.A		ECURSEVI	PROYECTO HIDROELÉCTRICO PALMIRA	MODELO SÍSMICO DEL TERRENO		
						Hoja

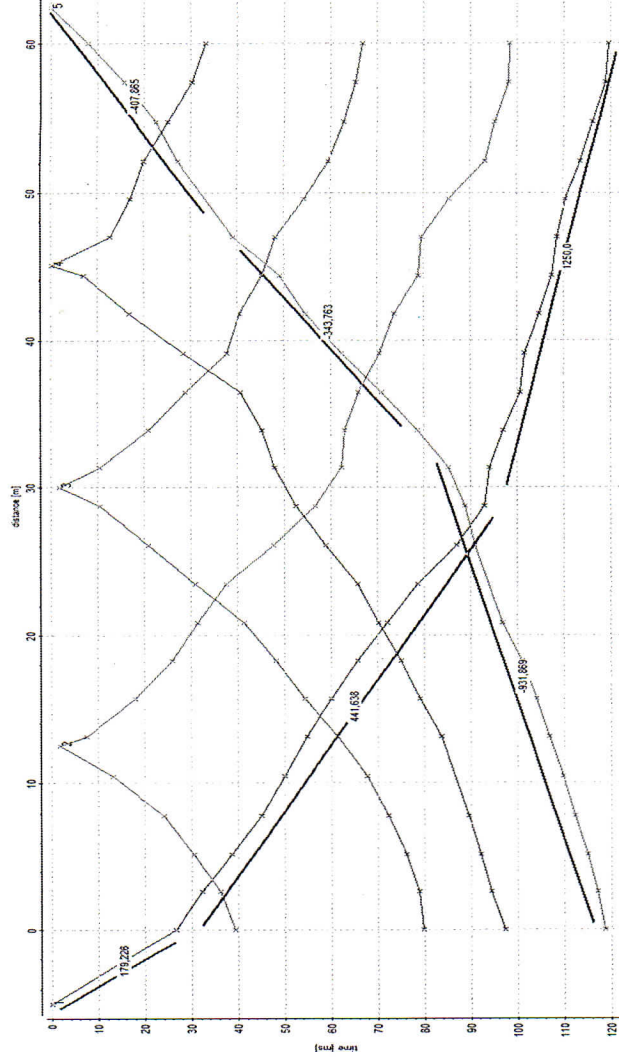
PERFIL SÍSMICO Nº 2 (página 1 de 2)

Peticionario:	CONSTRUCTORA NACIONAL S.A	Equipo:	SUMMIT COMPACT II	COORDENADAS UTM (DATUM WGS - 84)	
Obra:	PROYECTO HIDROELECTRICO PALMIRA	Nº de geófonos:	24	INICIO	
Situación:	CUENCA DEL RIO ALAMBI, NANEGAL, PICHINCHA	Longitud de la línea:	60	X: 17357	Y: 757934
Fecha:	23 AGOSTO DE 2014	Orientación de la línea:	W-E	FIN	
Técnico:	DIEGO JAMIL JARA	Distancia entre geófonos:	2,5 m	X: 17357	Y: 757987
				MAZA 6,0 Kg	
				Estaciones de golpeo:	
				Distancia fuente-primer receptor:	2,5 m

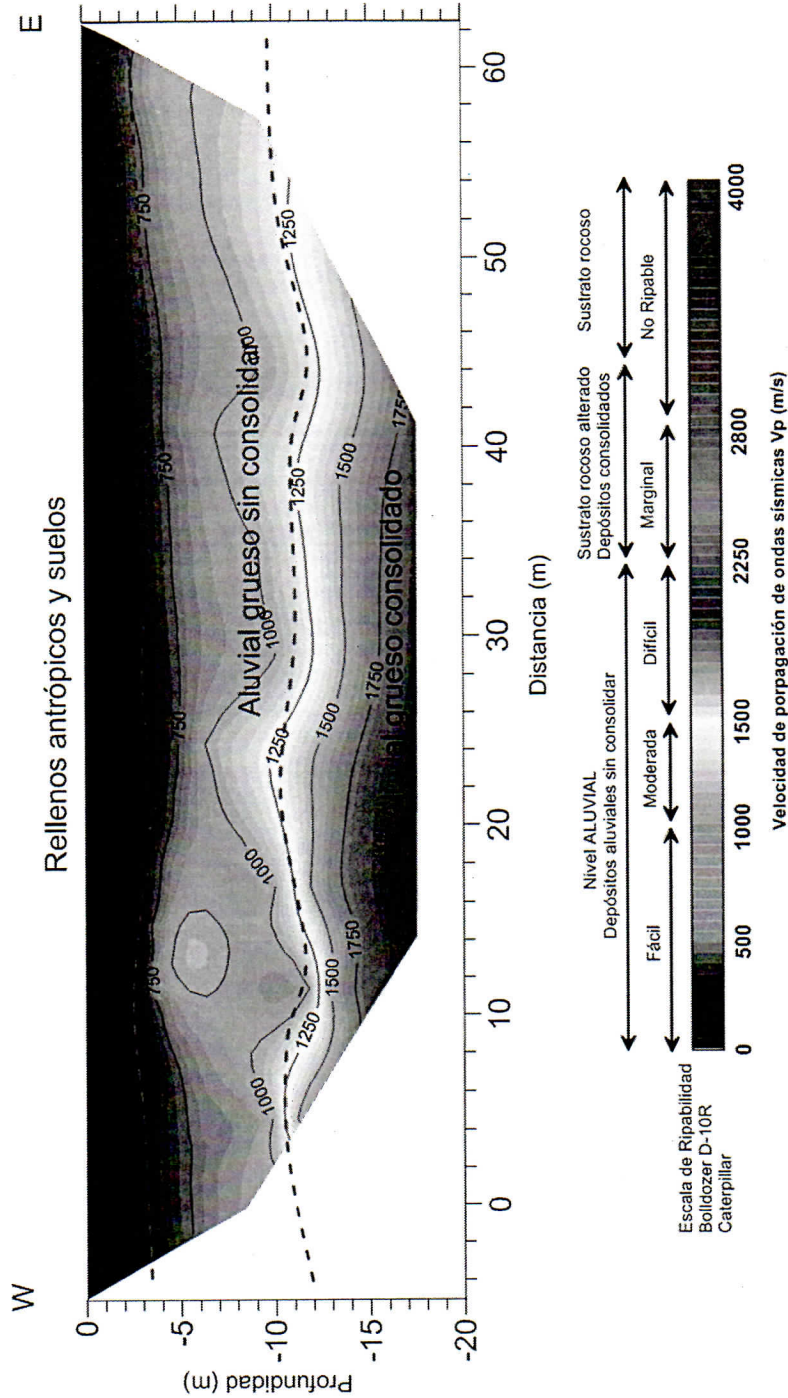
FOTOGRAFÍAS



GRÁFICA DE DROMOCRONAS



MODELO SÍSMICO DEL TERRENO



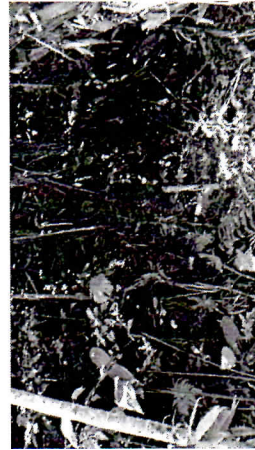
CLIENTE	CONSTRUCTORA NACIONAL S.A	CONSULTOR	 ECURSEVI	TÍTULO DEL PROYECTO	FECHA		ESCALA:	DENOMINACIÓN DEL DIBUJO:	PLANO
					SEPTIEMBRE 2014				
					IDENTIFICACIÓN				
					40053440				
				PROYECTO HIDROELECTRICO PALMIRA	MODELO SÍSMICO DEL TERRENO				
					HOJA				

PERFIL SÍSMICO Nº 3 (página 1 de 2)

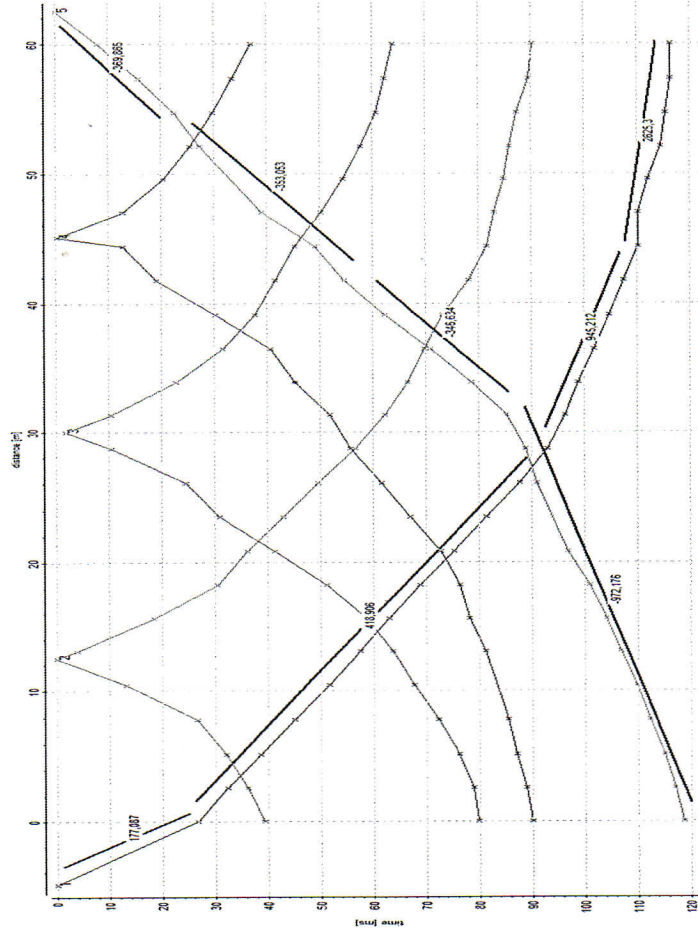


Peticionario:	CONSTRUCTORA NACIONAL S.A	Equipo:	SUMMIT COMPACT II	Distancia fuente-primer receptor:	2,5 m	COORDENADAS UTM (DATUM WGS - 84)	
Obra:	PROYECTO HIDROELÉCTRICO PALMIRA	Nº de geófonos:	24	Estaciones de golpeo:	5	INICIO	
Situación:	CUENCA DEL RÍO ALAMBI, NANEGAL, PICHINCHA	Longitud de la línea:	60	Tipo de fuente:	MAZA 6,0 kg	X: 17335	Y: 758008
Fecha:	23 AGOSTO DE 2014	Orientación de la línea:	SW-NE			FIN	
Técnico:	DIEGO JAMIL JARA	Distancia entre geófonos:	2,5 m			X: 17313	Y: 757960

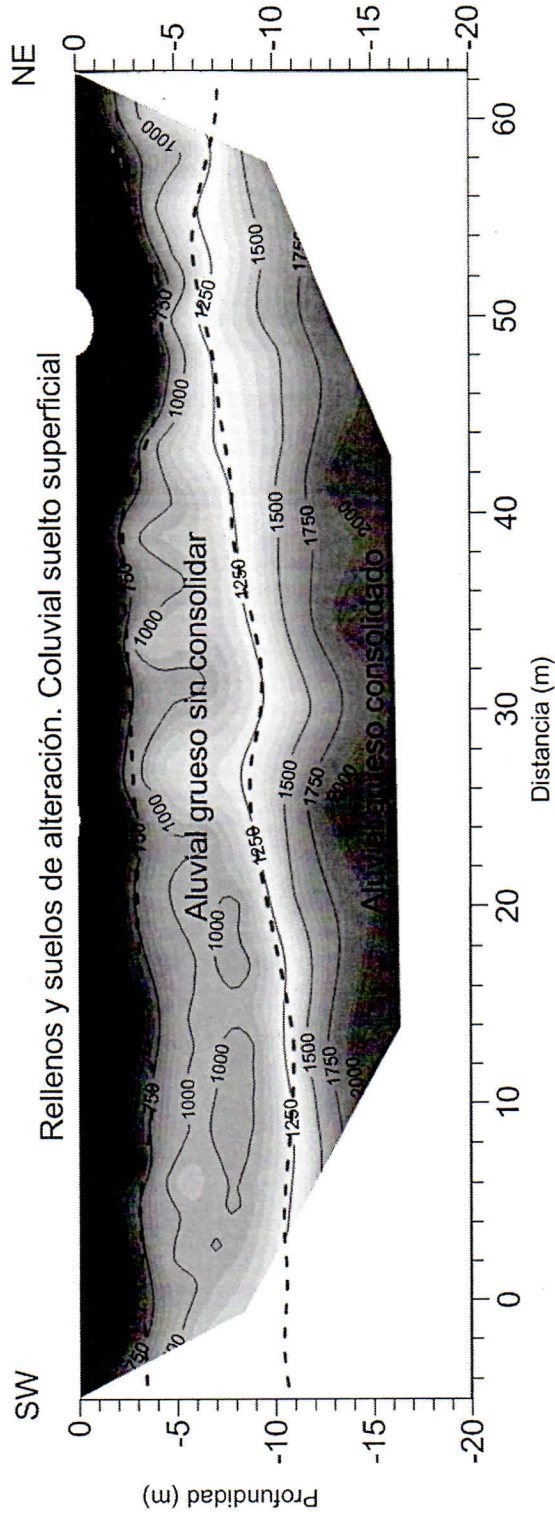
FOTOGRAFÍAS



GRÁFICA DE DROMOCRONAS



MODELO SÍSMICO DEL TERRENO



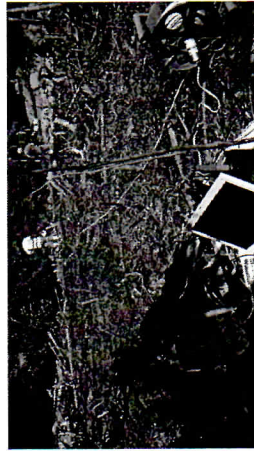
CLIENTE	CONSULTOR	TÍTULO DEL PROYECTO	FECHA	ESCALA:	DENOMINACIÓN DEL DIBUJO:	PLANO
CONSTRUCTORA NACIONAL S.A.	ECURSEVI	PROYECTO HIDROELÉCTRICO PALMIRA	SEPTIEMBRE 2014	IDENTIFICACIÓN	MODELO SÍSMICO DEL TERRENO	HOJA
				40053440		

PERFIL SÍSMICO Nº 4 (página 1 de 2)

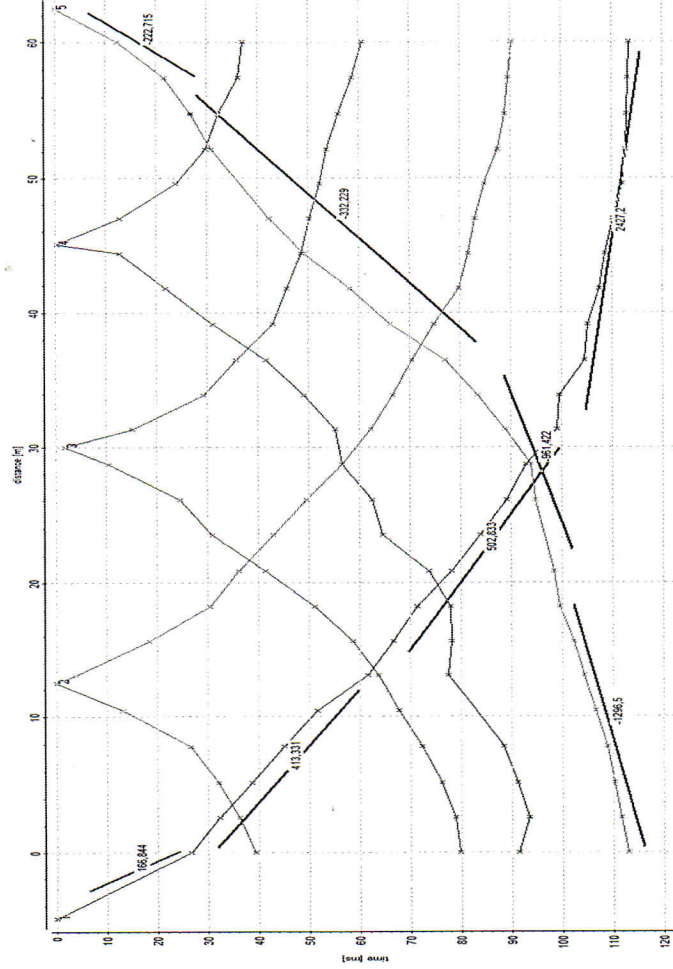


Peticionario:	CONSTRUCTORA NACIONAL S.A	Equipo:	SUMMIT COMPACT II	COORDENADAS UTM (DATUM WGS-84)	
Obra:	PROYECTO HIDROELÉCTRICO PALMIRA	Nº de geófonos:	24	INICIO	
Situación:	CUENCA DEL RÍO ALAMBI, NANEGAL, PICHINCHA	Longitud de la línea:	60	X: 17355	Y: 758037
Fecha:	23 AGOSTO DE 2014	Orientación de la línea:	W-E	FIN	
Técnico:	DIEGO JAMIL JARA	Distancia entre geófonos:	5 m	X: 17327	Y: 758008
		Distancia fuente-primer receptor:	2,5 m		
		Estaciones de golpeo:	5		
		Tipo de fuente:	MAZA 6,0 Kg		

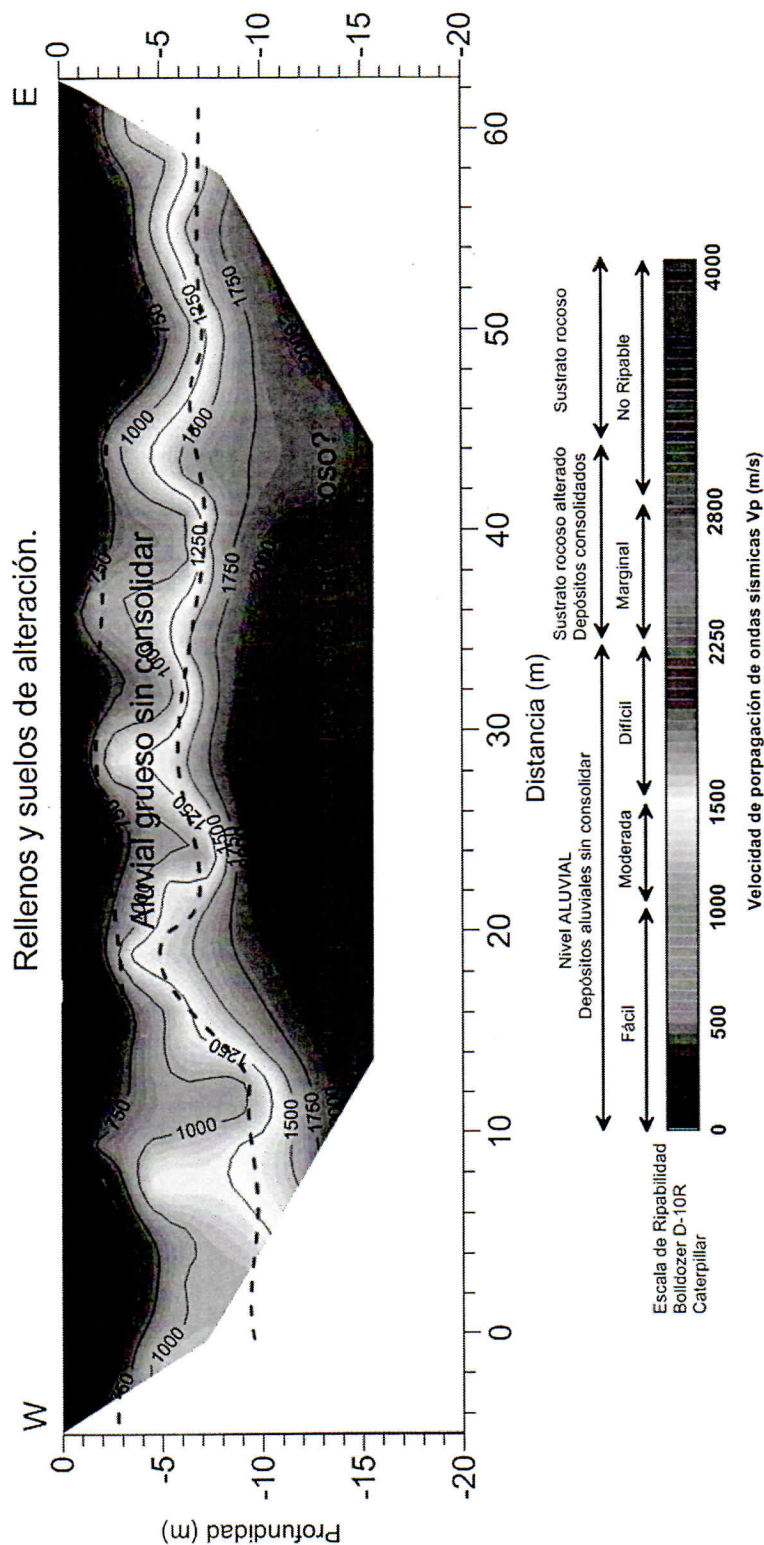
FOTOGRAFÍAS



GRÁFICA DE DROMOCRONAS



MODELO SÍSMICO DEL TERRENO



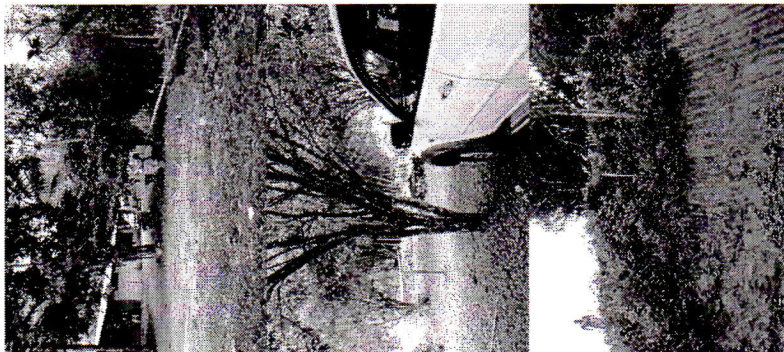
CLIENTE	CONSULTOR	TÍTULO DEL PROYECTO	FECHA	ESCALA:	DENOMINACIÓN DEL DIBUJO:	PLANO
CONSTRUCTORA NACIONAL S.A	ECURSEVI	PROYECTO HIDROELÉCTRICO PALMIRA	SEPTIEMBRE 2014		MODELO SÍSMICO DEL TERRENO	HOJA
			IDENTIFICACIÓN	40053440		

PERFIL SÍSMICO Nº 5 (página 1 de 2)

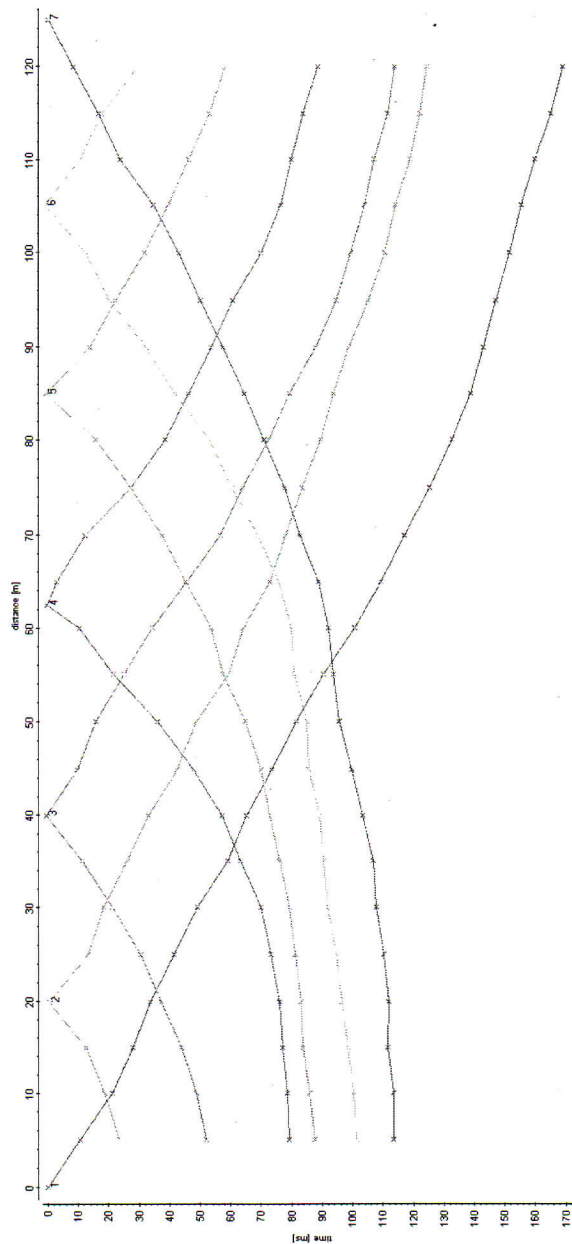


Peticionario:	ANDRÉS VELÁSQUEZ	Equipo:	SUMMIT COMPACT II	COORDENADAS UTM (DATUM WGS - 84)
Obra:	PROYECTO HIDROELÉCTRICO PALMIRA	Nº de geófonos:	12	INICIO
Situación:	CUENCA DEL RÍO ALAMBI, NANEGAL, PICHINCHA	Longitud de la línea:	120	X: 17368 Y: 757817
Fecha:	21 MARZO DE 2015	Orientación de la línea:	SW-NE	FIN
Técnico:	ANDRÉS VELÁSQUEZ	Distancia entre geófonos:	10 m	X: 17374 Y: 757936
		Distancia fuente- primer receptor:	20 m	
		Estaciones de golpeo:	7	
		Tipo de fuente:	MAZA 6,0 kg	

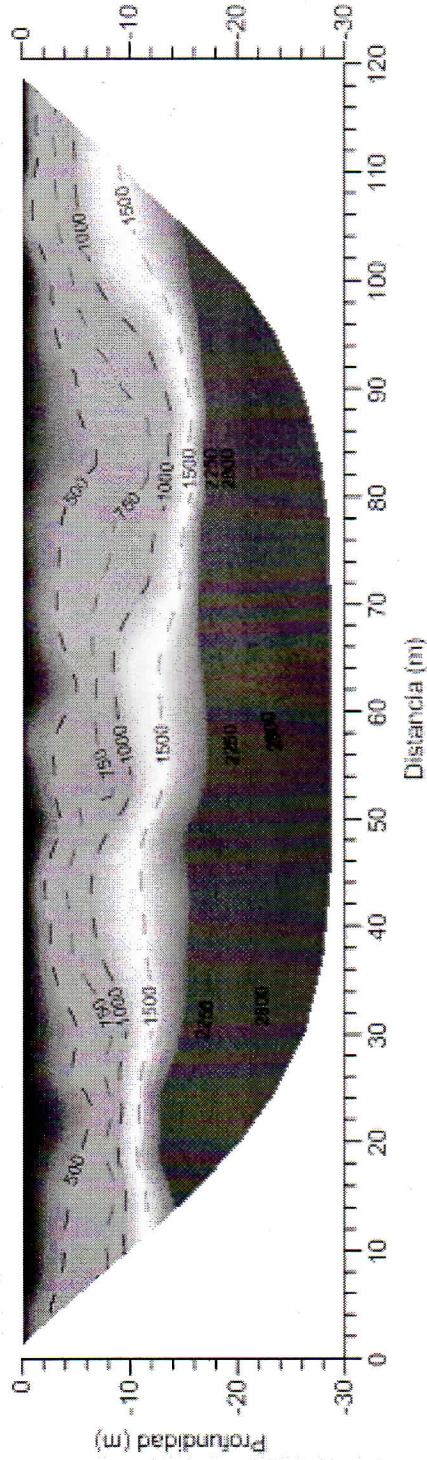
FOTOGRAFÍAS



GRÁFICA DE DROMOCRONAS



MODELO SÍSMICO DEL TERRENO



CLIENTE	CONSULTOR	TÍTULO DEL PROYECTO	FECHA	ESCALA:	DENOMINACIÓN DEL DIBUJO:	PLANO
ANDRÉS VELÁSQUEZ	ECURSEVI	PROYECTO HIDROELÉCTRICO PALMIRA	MARZO 2015		MODELO SÍSMICO DEL TERRENO	
			IDENTIFICACIÓN			
						HOJA

ANEXO IV: ENSAYOS LEFRANC

ENSAYOS DE PERMEABILIDAD LEFRANC. CARGA CONSTANTE

Cliente:	CONSTRUCTORA NACIONAL						
Trabajo:	AZUD PROYECTO HIDROELECTRICO PALMIRA SONDEO S1 - MI						
Ensayo:	LF 1	Cota:	9-12 m	Fecha:	01/09/2014		
Material	ALUVIAL, BLOUES, GRAVAS, MATRIZ ARENOSA	UG		1	N30	R	

DATOS DEL ENSAYO		ESQUEMA DE ENSAYO	
Diámetro de la entubación (mm) / D_e	101,6		
Diámetro del área ensayada (mm) / D	96		
Radio de la cavidad (mm)/ r	48		
Profundidad del nivel freático (m) / F	0,5		
Altura del revestimiento (m) / I	10		
Profundidad inicio ensayo (m) / L	9		
Profundidad fin de ensayo (m) / P	12		
Longitud de la zona filtrante / h	3		
Coefficiente de forma B	4,56		
ENSAYO LEFRANC A CARGA CONSTANTE (Según Schneebelt en Castany, 1971)			
$K = \frac{V}{B \times p_i \times \Delta t}$		$B = \frac{2\pi \times d_c \sqrt{\left(\frac{\Delta h}{d_c}\right)^2 - 1}}{\ln \left[\frac{\Delta h}{d_c} + \sqrt{\left(\frac{\Delta h}{d_c}\right)^2 - 1} \right]}$	

RESULTADO DE ENSAYO LEFRANC A CARGA CONSTANTE				Permeabilidad por escalones
Tiempo (min)	V (l)	$K_{escalones}$ (cm/s)	$K_{acumulado}$ (cm/s)	
0	0,00	0,00E+00	1,00E+00	
5	7,00	1,46E-06	1,46E-06	
10	7,50	1,57E-06	1,52E-06	
15	7,50	1,57E-06	1,53E-06	
20	7,50	1,57E-06	1,54E-06	
25	6,50	1,36E-06	1,50E-06	
30	7,10	1,48E-06	1,50E-06	
	43,1		1,50E-06	

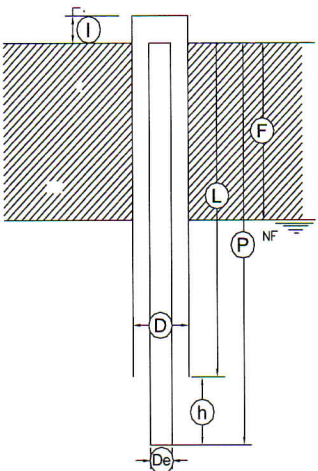
OBSERVACIONES:

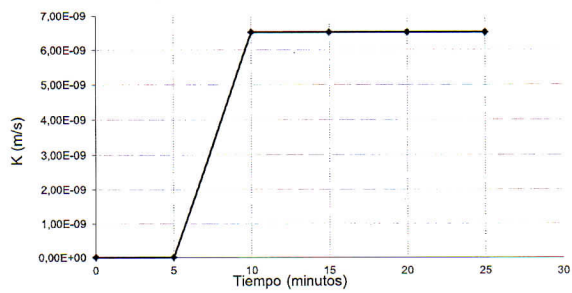
PERMEABILIDAD (K)			
1,50E-06	m/s	1,50E-04	cm/s

Firmado: D. Diego Jamil Jara G.	Firmado: D. Jose Manuel Carrilho Reyes
Ingeniero Geólogo. Departamento de Geotecnia	Ingeniero Civil

ENSAYOS DE PERMEABILIDAD LEFRANC. CARGA CONSTANTE

Cliente:	CONSTRUCTORA NACIONAL						
Trabajo:	AZUD PROYECTO HIDROELECTRICO PALMIRA SONDEO S2 - MD						
Ensayo:	LF 1	Cota:	9-15 m	Fecha:	22/08/2014		
Material	ALUVIAL, BLOUES, GRAVAS, MATRIZ ARENOSA	UG	1	N30	R		

DATOS DEL ENSAYO		ESQUEMA DE ENSAYO	
Diámetro de la entubación (mm) / D_e	101,6		
Diámetro del área ensayada (mm) / D	96		
Radio de la cavidad (mm)/ r	48		
Profundidad del nivel freático (m) / F	0,55		
Altura del revestimiento (m) / I	0		
Profundidad inicio ensayo (m) / L	9		
Profundidad fin de ensayo (m) / P	15		
Longitud de la zona filtrante / h	6		
Coefficiente de forma B	7,81		
ENSAYO LEFRANC A CARGA CONSTANTE (Según Schneebelt en Castany, 1971)			
$K = \frac{V}{B \times p_i \times \Delta t}$		$B = \frac{2\pi \times d_e \sqrt{\left(\frac{\Delta h}{d_e}\right)^2 - 1}}{\ln \left[\frac{\Delta h}{d_e} + \sqrt{\left(\frac{\Delta h}{d_e}\right)^2 - 1} \right]}$	

RESULTADO DE ENSAYO LEFRANC A CARGA CONSTANTE				Permeabilidad por escalones
Tiempo (min)	V (l)	$K_{\text{escalones}}$ (cm/s)	$K_{\text{acumulado}}$ (cm/s)	
0	0,00	0,00E+00	1,00E+00	
5	0,00	0,00E+00	0,00E+00	
10	0,10	6,52E-09	3,26E-09	
15	0,10	6,52E-09	4,35E-09	
20	0,10	6,52E-09	4,89E-09	
25	0,10	6,52E-09	5,21E-09	
30	0,10	6,52E-09	5,43E-09	
	0,5		5,43E-09	

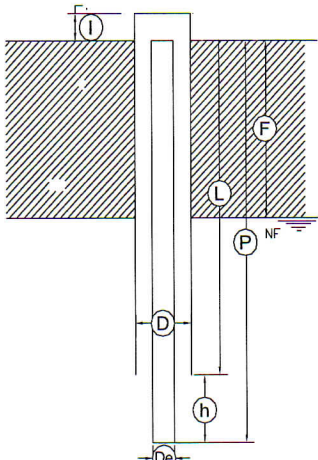
OBSERVACIONES:

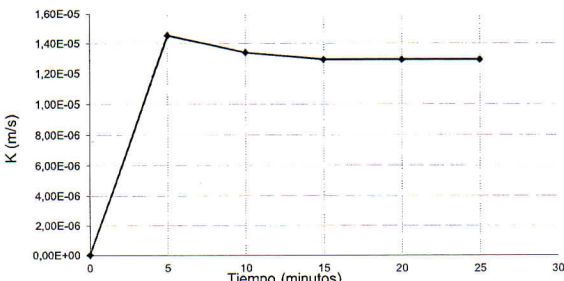
PERMEABILIDAD (K)	
5,43E-09 m/s	5,43E-07 cm/s

Firmado: D. Diego Jamil Jara G.	Firmado: D. Jose Manuel Carrilho Reyes
Ingeniero Geólogo. Departamento de Geotecnia	Ingeniero Civil

ENSAYOS DE PERMEABILIDAD LEFRANC. CARGA CONSTANTE

Cliente:	CONSTRUCTORA NACIONAL						
Trabajo:	AZUD PROYECTO HIDROELECTRICO PALMIRA SONDEO S3 - MD						
Ensayo:	LF 1	Cota:	5-7,2 m	Fecha:	24/08/2014		
Material	ALUVIAL, BLOUES, GRAVAS, MATRIZ ARENOSA	UG		1	N30	R	

DATOS DEL ENSAYO		ESQUEMA DE ENSAYO	
Diámetro de la entubación (mm) / D_e	101,6		
Diámetro del área ensayada (mm) / D	96		
Radio de la cavidad (mm)/r	48		
Profundidad del nivel freático (m) / F	1,8		
Altura del revestimiento (m) / I	0,15		
Profundidad inicio ensayo (m) / L	5		
Profundidad fin de ensayo (m) / P	7,2		
Longitud de la zona filtrante / h	2,2		
Coeficiente de forma B	3,61		
ENSAYO LEFRANC A CARGA CONSTANTE (Según Schneebelt en Castany, 1971)			
$K = \frac{V}{B \times p_i \times \Delta t}$		$B = \frac{2\pi \times d_c \sqrt{\left(\frac{\Delta h}{d_c}\right)^2 - 1}}{\ln \left[\frac{\Delta h}{d_c} + \sqrt{\left(\frac{\Delta h}{d_c}\right)^2 - 1} \right]}$	

RESULTADO DE ENSAYO LEFRANC A CARGA CONSTANTE				Permeabilidad por escalones
Tiempo (min)	V (l)	$K_{escalones}$ (cm/s)	$K_{acumulado}$ (cm/s)	
0	0,00	0,00E+00	1,00E+00	
5	63,00	1,45E-05	1,45E-05	
10	58,00	1,34E-05	1,40E-05	
15	56,00	1,29E-05	1,36E-05	
20	56,00	1,29E-05	1,34E-05	
25	56,00	1,29E-05	1,33E-05	
30	56,00	1,29E-05	1,33E-05	
	345		1,33E-05	

OBSERVACIONES:

PERMEABILIDAD (K)	
1,33E-05 m/s	1,33E-03 cm/s

Firmado: D. Diego Jamil Jara G.	Firmado: D. Jose Manuel Carrilho Reyes
Ingeniero Geólogo. Departamento de Geotecnia	Ingeniero Civil

ENSAYOS DE PERMEABILIDAD LEFRANC. CARGA VARIABLE

Cliente:	CONSTRUCTORA NACIONAL				
Trabajo:	Azud Proyecto Hidroeléctrico Palmira				
Ensayo:	LF 1	Cota:	9-15 m	Fecha:	22/08/2014
Material	al,Bloques, gravas en matriz arenosa con algo de		UG	1	N₃₀

DATOS DEL ENSAYO

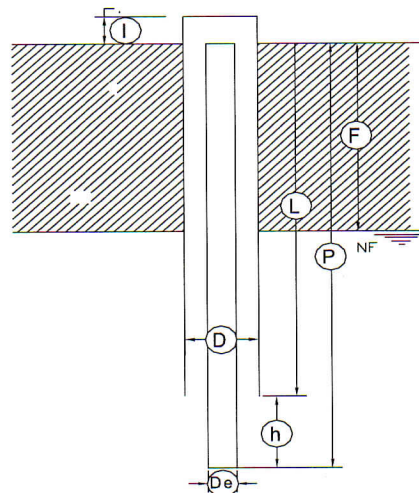
Diámetro de la entubación (mm) / D	90
Diámetro del área ensayada (mm) / D_e	96
Profundidad del nivel freático (m) / F	0,55
Altura del revestimiento (m) / I	0
Profundidad inicio ensayo (m) / L	9
Profundidad fin de ensayo (m) / P	15
Longitud de la zona filtrante / h	6

Jiménez Salas (1981)

$$K = \frac{D_e^2 \cdot \ln\left(\frac{2h}{D}\right)}{8 \cdot h \cdot t} \cdot \ln \frac{H_i}{H_f}$$

Hi y Hf = altura del agua al principio y al final del ensayo

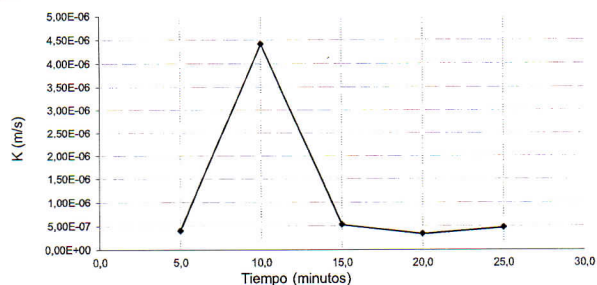
ESQUEMA DE ENSAYO



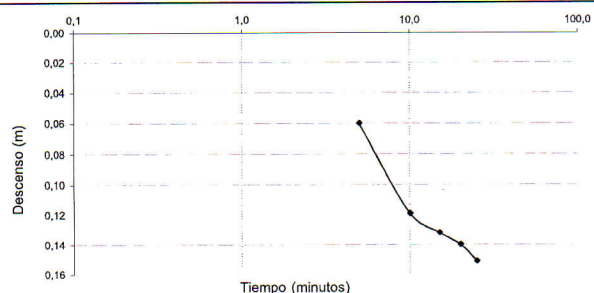
RESULTADOS DEL ENSAYO LEFRANC A CARGA VARIABLE

[illegible]

Permeabilidad por escalones



Curva descensos/tiempo

**OBSERVACIONES:**

PERMEABILIDAD (K)

2,209E-07 m/s	2,209E-05 cm/s
---------------	----------------

Firmado: D. Diego Jamil Jara G.	Firmado: D. Jose Manuel Carrilho Reyes
Ingeniero Geólogo. Departamento de Geotecnia	Ingeniero Civil

ANEXO V: ENSAYOS DE LABORATORIO

OBRA : Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira

LOCALIZACIÓN : Nanegal

MUESTRA : Muestra tomada por el Laboratorio

DESCRIPCIÓN : Sondeo P5. Prof. 1,50 - 2,00 m

NORMA : ASTM D2487

HOJA: 2/7

N° DE RECEPCIÓN : S 2817

SOLICITADO POR : Andrés Velásquez

FISCALIZACIÓN : -----

CONTRATISTA : -----

FECHA INGRESO : 03/02/2015

FECHA ENTREGA : 06/02/2015

1.- CONTENIDO DE HUMEDAD - Norma ASTM D 2216

Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. + ss.	% Humedad	% Hum. Promed
11,70	36,68	33,70	13,55	13,64
17,94	49,92	46,06	13,73	

2.- LÍMITE PLÁSTICO - Norma ASTM D 4318

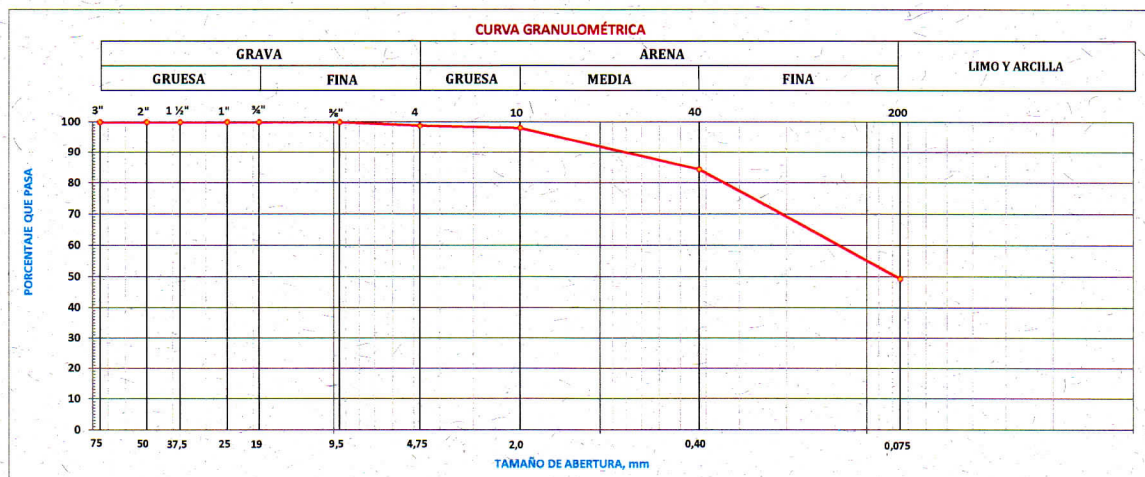
SUELO NO PLÁSTICO

3.- LÍMITE LÍQUIDO - Norma ASTM D 4318

SUELO NO PLÁSTICO

4.- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - Norma ASTM D 422

TAMIZ N°	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
ABERTURA (mm)	75,0	50,0	37,5	25,0	19,0	9,5	4,75	2,0	0,425	0,075
PORCENTAJE RETENIDO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25	2,03	15,64	50,60
% QUE PASA	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,7	98,0	84,4	49,4



5.- RESUMEN DE RESULTADOS Y CLASIFICACIÓN

HUMEDAD NATURAL (%)

% Humedad : **14**

LÍMITES DE ATTERBERG

Límite Líquido, LL : **NP**

Límite Plástico, LP : **NP**

Índice de Plasticidad, IP : **NP**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

% Grava : **1**

% Arena : **49**

% Finos : **49**

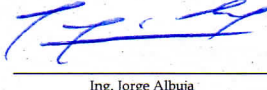
CONTENIDO ORGÁNICO : **NO**

CLASIFICACIÓN SUCS : **SM**

NOMBRE TÍPICO : **Arena limosa**

NOTA: Este informe no puede ser reproducido parcialmente


Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS


Ing. Jorge Albuja
RESPONSABLE DEL ÁREA



ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE RELACIONES FUNDAMENTALES

OBRA : Tesis Proyecto Hidroelectrico Palmira

N° DE RECEPCIÓN : S 2817

LOCALIZACIÓN : Nanegal

SOLICITADO POR : Andrés Velásquez

MUESTRA : Muestra tomada por el cliente

FISCALIZACIÓN : -----

DESCRIPCIÓN : Sondeo P5 - Prof. 4,00 - 4,50 m

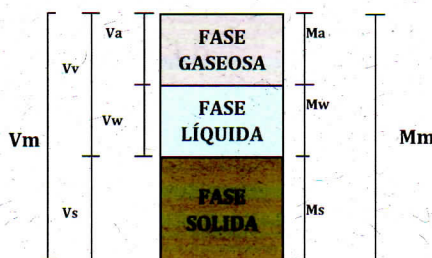
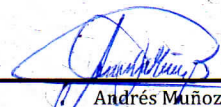
CONTRATISTA : -----

FECHA : 06/02/2015

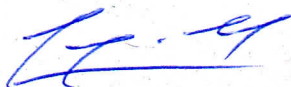
A = Masa de la muestra en el aire = 37,17 gr
B = Masa de la muestra + la parafina en el aire = 39,89 gr
C = Masa de la muestra + la parafina sumergida = 17,52 gr
 γ_p = Densidad de la parafina = 0,92 gr/cm³

V_m = 19,41 cm³
M_{mh} = 37,17 gr
W% = 14,44 %
G_s = 2,6
M_s = 32,48 gr
 γ_{HUMEDA} = 1,915 gr/cm³
 γ_{SECA} = 1,673 gr/cm³
M_w = 4,69 gr
V_s = 12,49 cm³
V_w = 4,69 cm³
V_v = 6,92 cm³
V_a = 2,23 cm³
e = 0,55
n% = 35,65 %
Grado de Saturación % = 67,76 %

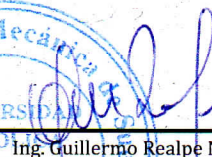
Contenido de Humedad (%)		
Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	51,73	38,80
Peso cap. + suelo seco (gr.)	47,20	36,23
Peso cápsula (gr.)	16,80	17,84
Contenido de Humedad (%)	14,90	13,97
Contenido de Humedad promedio (%)	14,44	

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS



Ing. Jorge Albuja
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Guillermo Realpe M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO



Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624
Cel.: 09870 49430
Quito-Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS - MÉTODO DEL PICNÓMETRO

OBRA : Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira
LOCALIZACIÓN : Nanegal
MUESTRA : Muestra tomada por el Laboratorio
DESCRIPCIÓN : Muestra P5- Prof. 4,50 - 5,00 m
NORMA : ASTM D 854-02

N° DE RECEPCIÓN : S 2817
SOLICITADO POR : Andrés Velásquez
FISCALIZACIÓN : -----
CONTRATISTA : -----
FECHA : 06/02/2015

MATRAZ N° = 1 L

MASA matraz + agua + suelo (gr) = 673,72

TEMPERATURA (T °C) = 25,0

MASA matraz + agua (gr) = 644,93

MASA suelo (gr) = 46,70

Gs = 2,61

Gs (20°C) = 2,60

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Jorge Albuja
RESPONSABLE DE ÁREA



Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)



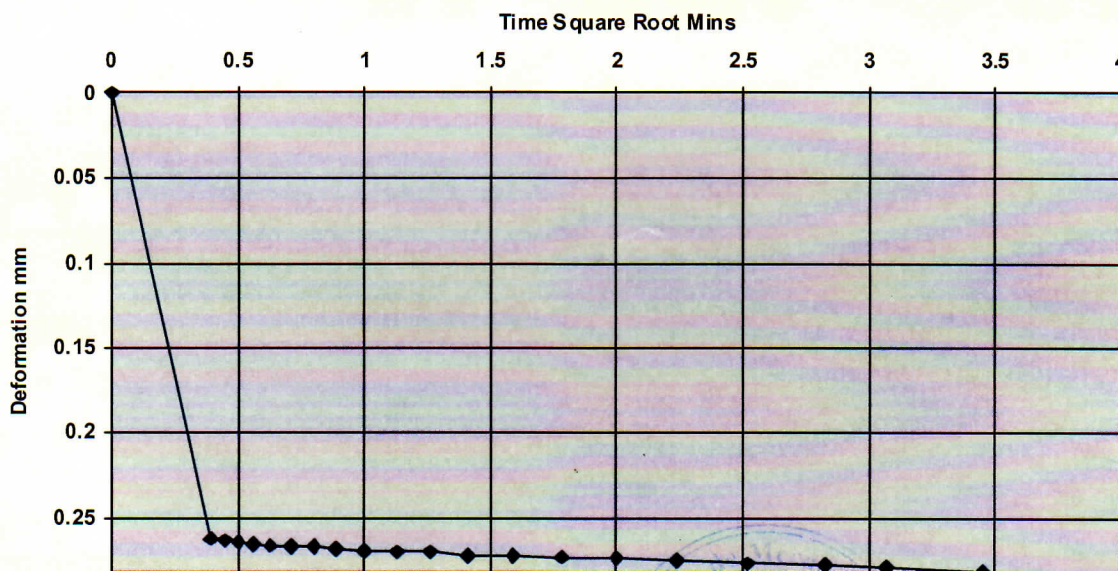
Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Hidroeléctrica Palmira	Job	2817 S
Borehole	P5 4,00 a 4,50 m de prof.	Sample	Remoldada

Test Details			
Standard	ASTM D3080-03 / AASHTO T236-92	Particle Specific Gravity	2.67
Sample Type	Core sample	Single or Multi Stage	Single Stage
Lab. Temperature	20.0 deg.C	Location	
Sample Description	Arena Limosa		
Variations from procedure	None		

Specimen Details			
Specimen Reference	A	Description	100 KPa
Depth within Sample	0.00mm	Orientation within Sample	
Initial Height	20.070 mm	Area	3547.98 mm ²
Structure / Preparation		Initial Water Content*	14.97 %
Initial Wet Unit Weight	18.53 kN/m ³	Degree of Saturation	63.92 %
Initial Dry Unit Weight	16.12 kN/m ³	Initial Voids Ratio	0.625
Final Wet Unit Weight	19.90 kN/m ³	Final Water Content	21.70%
Final Dry Unit Weight	16.35 kN/m ³	Dry Mass	116.98 g
Tested Dry or Submerged	Submerged		
Comments			

* Calculated from initial and dry weights of whole specimen

Deformation vs Square Root Time

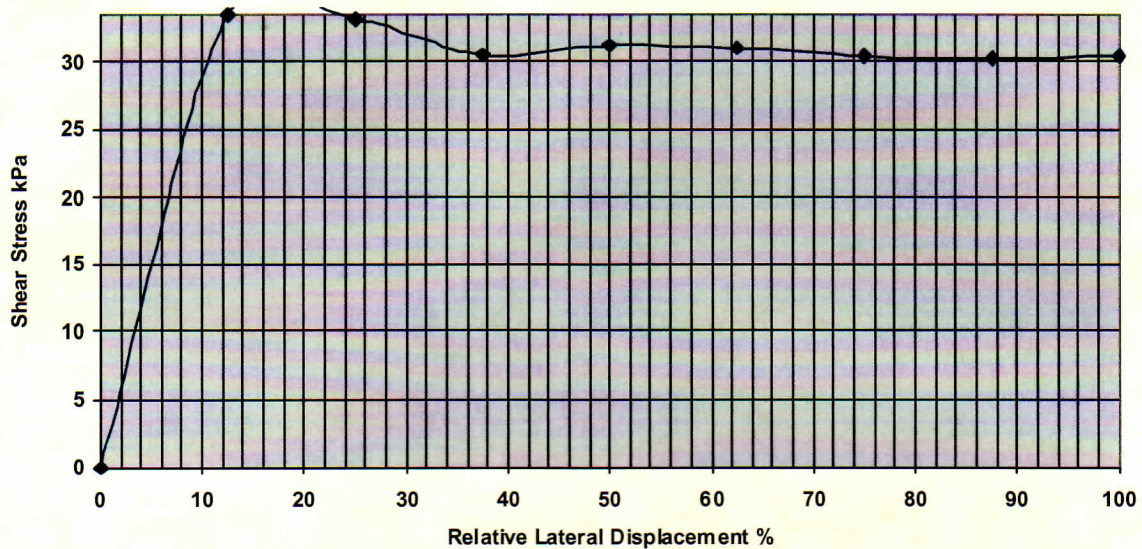


Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)

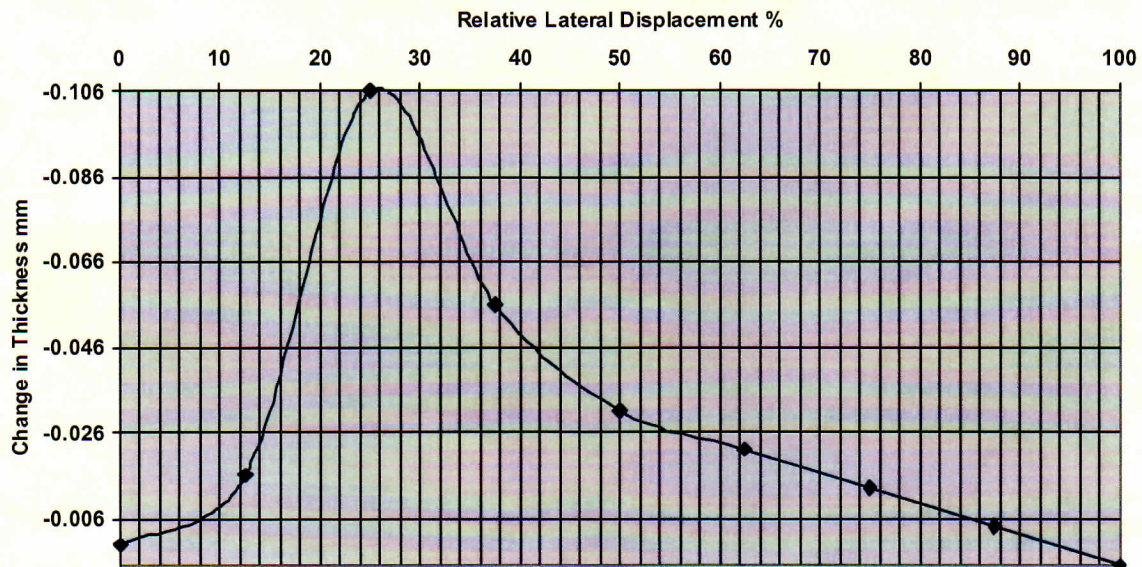


Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Hidroeléctrica Palmira	Job	2817 S
Borehole	P5 4,00 a 4,50 m de prof.	Sample	Remoldada

Shear Stress Vs Displacement



Change in Specimen Thickness Vs Displacement



Rate of Horizontal Displacement	Stage 1: 0.1433mm/min
--	-----------------------

Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)



Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Hidroeléctrica Palmira	Job	2817 S
Borehole	P5 4,00 a 4,50 m de prof.	Sample	Remoldada

Conditions at Failure	
Normal Stress	100.0 kPa
Peak Strength	33.5 kPa
Horizontal Deformation	1.199 mm
Residual Stress	0.0 kPa
Vertical Deformation	0.272 mm

Tested By :	<u>Eduardo Granda</u> Eduardo Granda
Checked By:	<u>J. J. Albuja</u> Eng. Jorge Albuja
Approved By :	<u>Guillermo Realpe</u> Eng. Guillermo Realpe M.Sc

Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)



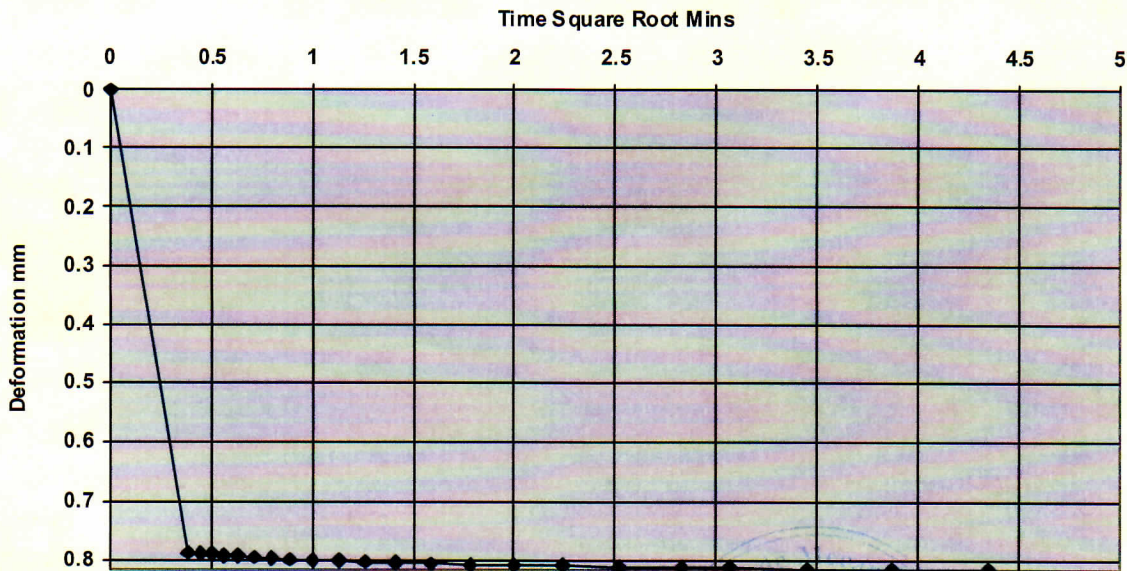
Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Hidroeléctrica Palmira	Job	2817 S
Borehole	P5 4,00 a 4,50 m de prof.	Sample	Remoldada

Test Details			
Standard	ASTM D3080-03 / AASHTO T236-92	Particle Specific Gravity	2.67
Sample Type	Core sample	Single or Multi Stage	Single Stage
Lab. Temperature	20.0 deg.C	Location	
Sample Description	Arena Limosa		
Variations from procedure	None		

Specimen Details			
Specimen Reference	B	Description	200 KPa
Depth within Sample	0.00mm	Orientation within Sample	
Initial Height	20.720 mm	Area	3547.98 mm ²
Structure / Preparation		Initial Water Content*	15.08 %
Initial Wet Unit Weight	17.87 kN/m ³	Degree of Saturation	58.58 %
Initial Dry Unit Weight	15.52 kN/m ³	Initial Voids Ratio	0.687
Final Wet Unit Weight	20.03 kN/m ³	Final Water Content	21.82%
Final Dry Unit Weight	16.44 kN/m ³	Dry Mass	116.34 g
Tested Dry or Submerged	Submerged		
Comments			

* Calculated from initial and dry weights of whole specimen

Deformation vs Square Root Time

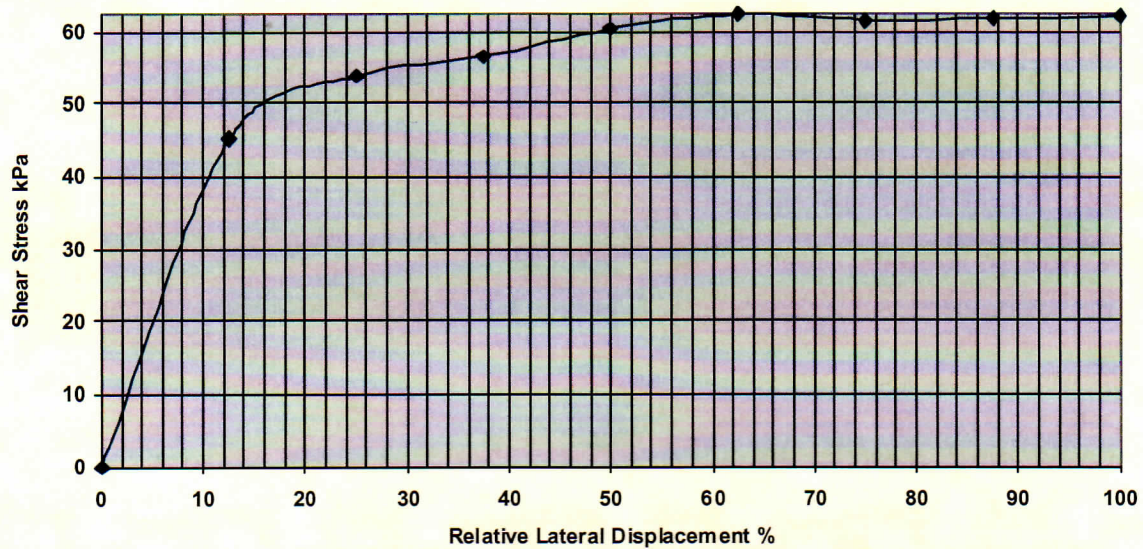


Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)

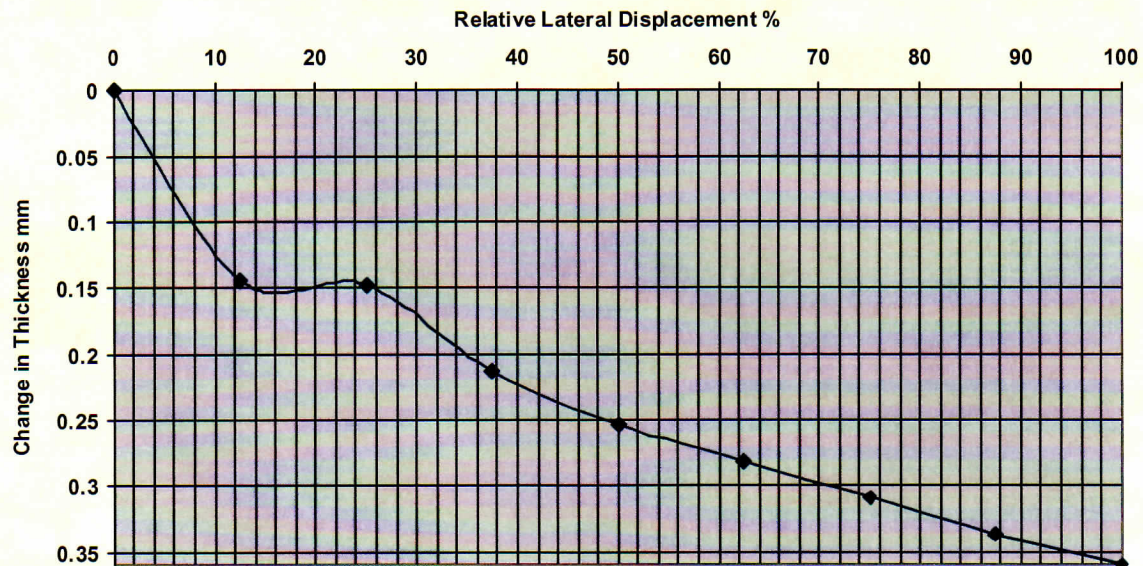


Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Hidroeléctrica Palmira	Job	2817 S
Borehole	P5 4,00 a 4,50 m de prof.	Sample	Remoldada

Shear Stress Vs Displacement



Change in Specimen Thickness Vs Displacement



Rate of Horizontal Displacement	Stage 1: 0.1318mm/min
--	-----------------------

Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)



Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Hidroeléctrica Palmira	Job	2817 S
Borehole	P5 4,00 a 4,50 m de prof.	Sample	Remoldada

Conditions at Failure	
Normal Stress	200.0 kPa
Peak Strength	62.4 kPa
Horizontal Deformation	5.994 mm
Residual Stress	0.0 kPa
Vertical Deformation	1.105 mm

Tested By :	<u>Eduardo Granda</u> Eduardo Granda
Checked By:	<u>Jorge Albuja</u> Eng. Jorge Albuja
Approved By :	<u>Guillermo Realpe</u> Eng. Guillermo Realpe M.Sc

Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)



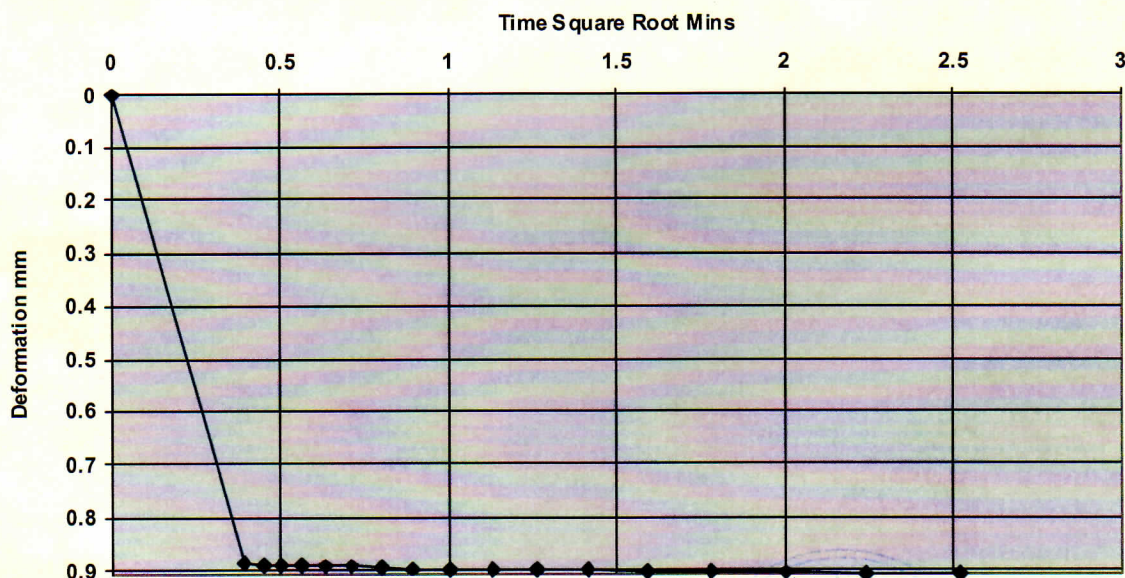
Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Hidroeléctrica Palmira	Job	2817 S
Borehole	P5 4,00 a 4,50 m de prof.	Sample	Remoldada

Test Details			
Standard	ASTM D3080-03 / AASHTO T236-92	Particle Specific Gravity	2.67
Sample Type	Core sample	Single or Multi Stage	Single Stage
Lab. Temperature	20.0 deg.C	Location	
Sample Description	Arena Limosa		
Variations from procedure	None		

Specimen Details			
Specimen Reference	C	Description	400 KPa
Depth within Sample	0.00mm	Orientation within Sample	
Initial Height	20.690 mm	Area	3547.98 mm ²
Structure / Preparation		Initial Water Content*	15.44 %
Initial Wet Unit Weight	18.29 kN/m ³	Degree of Saturation	63.08 %
Initial Dry Unit Weight	15.84 kN/m ³	Initial Voids Ratio	0.653
Final Wet Unit Weight	20.26 kN/m ³	Final Water Content	20.85%
Final Dry Unit Weight	16.77 kN/m ³	Dry Mass	118.54 g
Tested Dry or Submerged	Submerged		
Comments			

* Calculated from initial and dry weights of whole specimen

Deformation vs Square Root Time

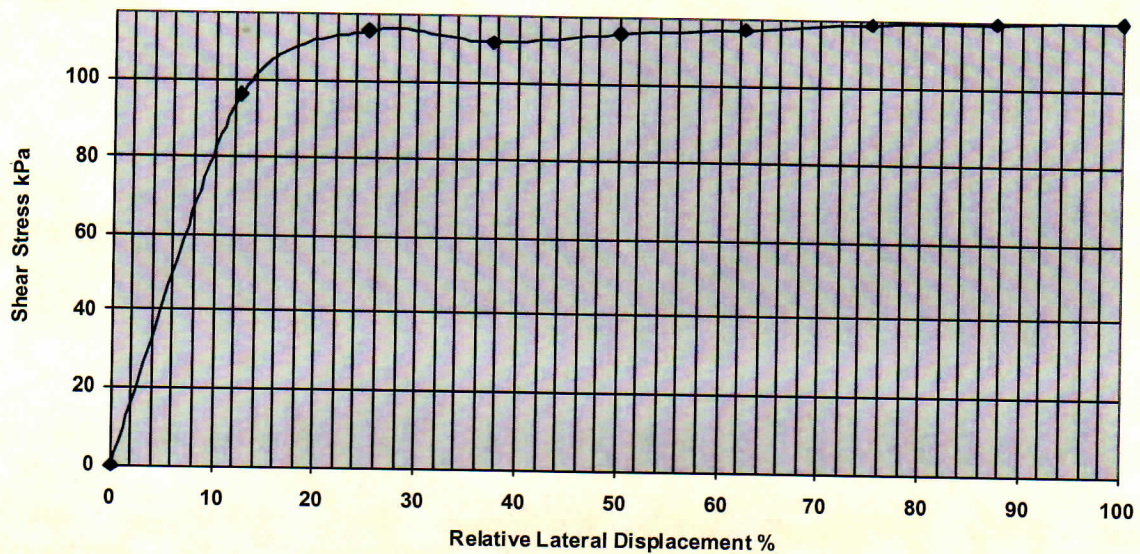


Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)

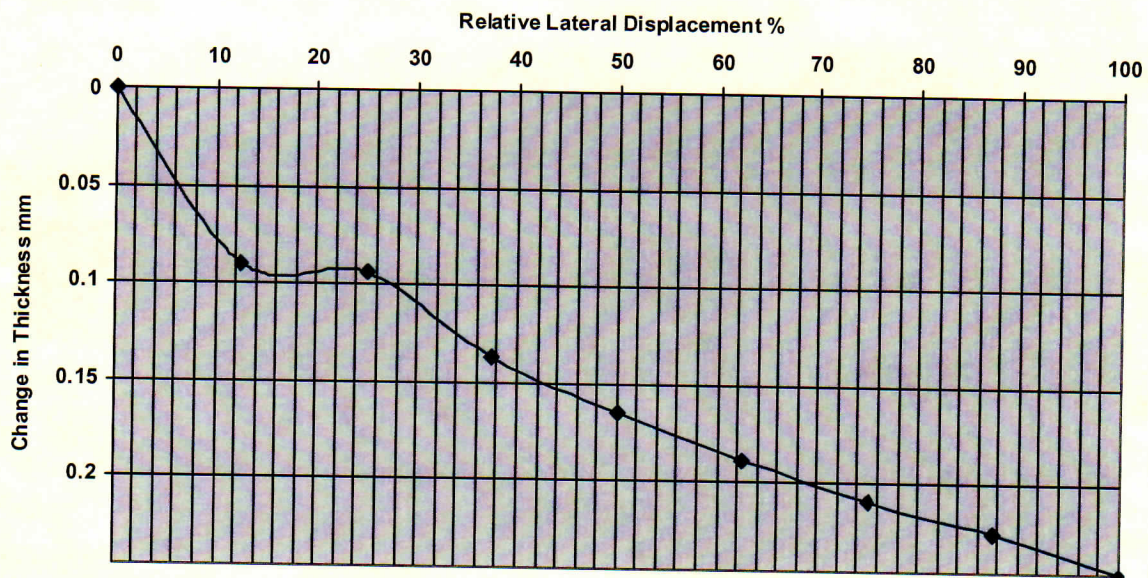


Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Hidroeléctrica Palmira	Job	2817 S
Borehole	P5 4,00 a 4,50 m de prof.	Sample	Remoldada

Shear Stress Vs Displacement



Change in Specimen Thickness Vs Displacement



Rate of Horizontal Displacement	Stage 1: 0.1376mm/min
--	-----------------------

Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)



Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Hidroeléctrica Palmira	Job	2817 S
Borehole	P5 4,00 a 4,50 m de prof.	Sample	Remoldada

Conditions at Failure	
Normal Stress	400.0 kPa
Peak Strength	117.3 kPa
Horizontal Deformation	8.392 mm
Residual Stress	0.0 kPa
Vertical Deformation	1.137 mm

Tested By :	<u>Eduardo Granda C.</u> Eduardo Granda
Checked By:	<u>Jorge Albuja</u> Eng. Jorge Albuja
Approved By :	<u>Guillermo Realpe</u> Eng. Guillermo Realpe M.Sc

Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)

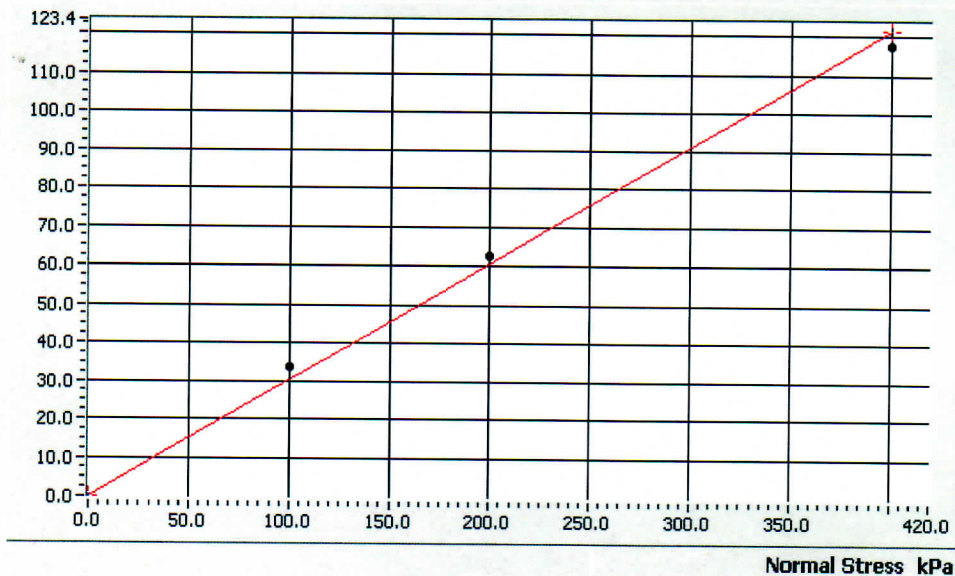


Test Summary

Reference	A	B	C	
Normal Stress	100.0 kPa	200.0 kPa	400.0 kPa	
Peak Strength	33.5 kPa	62.4 kPa	117.3 kPa	
Corresponding Horizontal Displacement	1.199 mm	5.994 mm	8.392 mm	
Residual Stress	N/A	N/A	N/A	
Rate of Shear Displacement	Stage 1: 0.1433mm/min	Stage 1: 0.1318mm/min	Stage 1: 0.1376mm/min	
Final Height	19.78 mm	19.56 mm	19.55 mm	
Sample Area	3547.98 mm ²	3547.98 mm ²	3547.98 mm ²	
Initial Wet Unit Weight	18.53 kN/m ³	17.87 kN/m ³	18.29 kN/m ³	
Initial Dry Unit Weight	16.12 kN/m ³	15.52 kN/m ³	15.84 kN/m ³	
Final Wet Unit Weight	19.90 kN/m ³	20.03 kN/m ³	20.26 kN/m ³	
Final Dry Unit Weight	16.35 kN/m ³	16.44 kN/m ³	16.77 kN/m ³	
Final Moisture Content	21.70 %	21.82 %	20.85 %	
Particle Specific Gravity	2.67	2.67	2.67	
Final Void Ratio	0.6021	0.5929	0.5623	
Final Saturation	96.22%	98.24%	98.97%	

Maximum Shear Stress vs Normal Stress

Peak Shear Stress kPa



Peak ●

Angle of Shear Resistance
16.86 Degrees

Cohesion
0.00 kPa

Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)



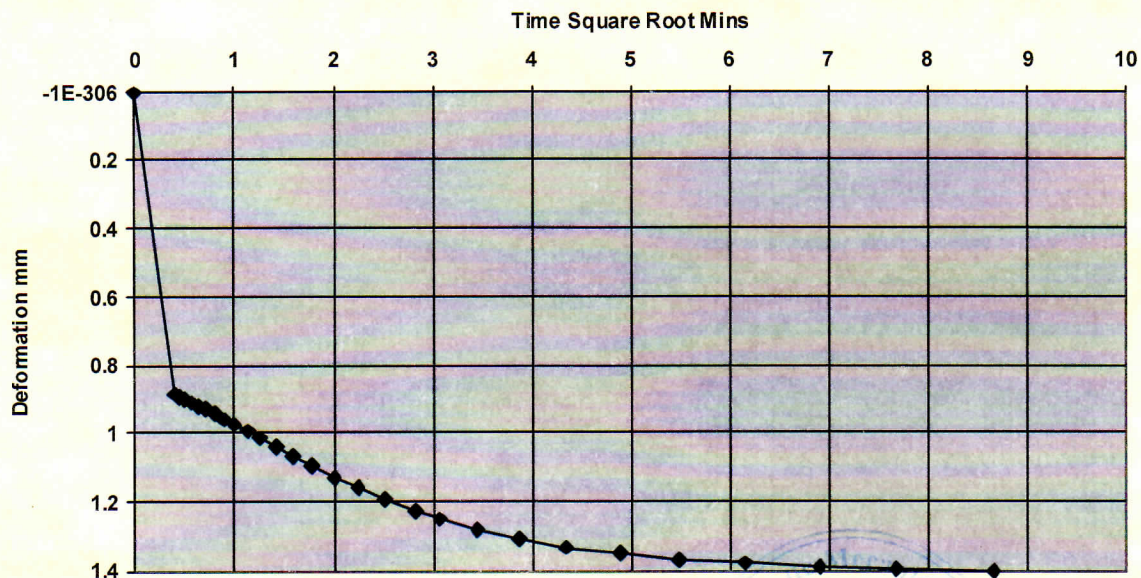
Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira	Job	S 2817
Borehole	Sondeo P5	Sample	9.00 – 9.50m

Test Details			
Standard	ASTM D3080-03 / AASHTO T236-92	Particle Specific Gravity	2.65
Sample Type	Core sample	Single or Multi Stage	Single Stage
Lab. Temperature	20.0 deg.C	Location	
Sample Description	Sondeo P5 – Prof. 9.00 – 9.50m		
Variations from procedure	None		

Specimen Details			
Specimen Reference	A	Description	100 Kpa
Depth within Sample	0.00mm	Orientation within Sample	
Initial Height	20.450 mm	Area	3547.98 mm ²
Structure / Preparation		Initial Water Content*	23.07 %
Initial Wet Unit Weight	19.69 kN/m ³	Degree of Saturation	97.81 %
Initial Dry Unit Weight	16.00 kN/m ³	Initial Voids Ratio	0.625
Final Wet Unit Weight	20.43 kN/m ³	Final Water Content	19.57%
Final Dry Unit Weight	17.08 kN/m ³	Dry Mass	118.31 g
Tested Dry or Submerged	Submerged		
Comments			

* Calculated from initial and dry weights of whole specimen

Deformation vs Square Root Time

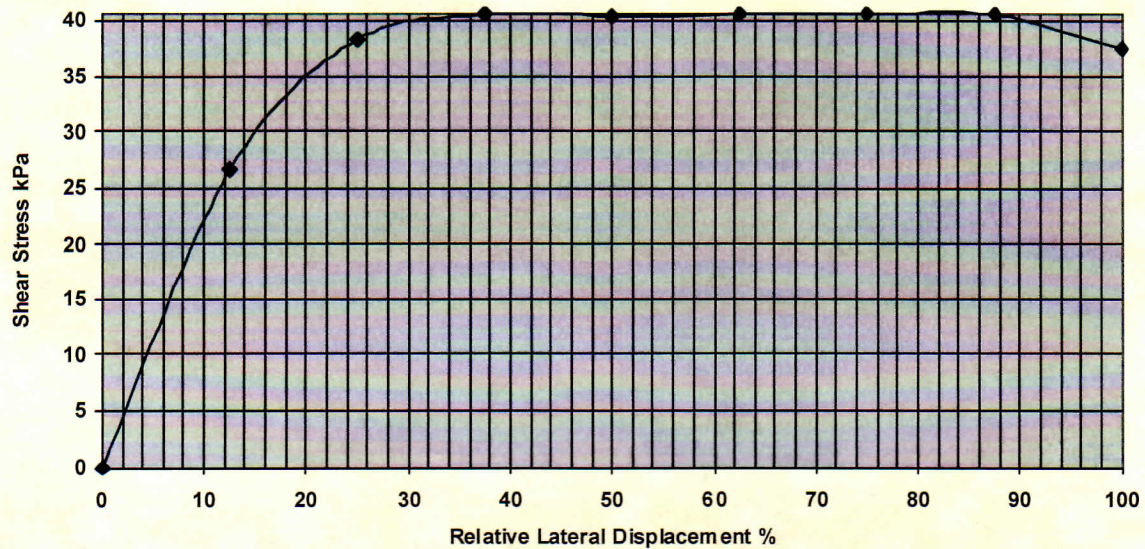


Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)

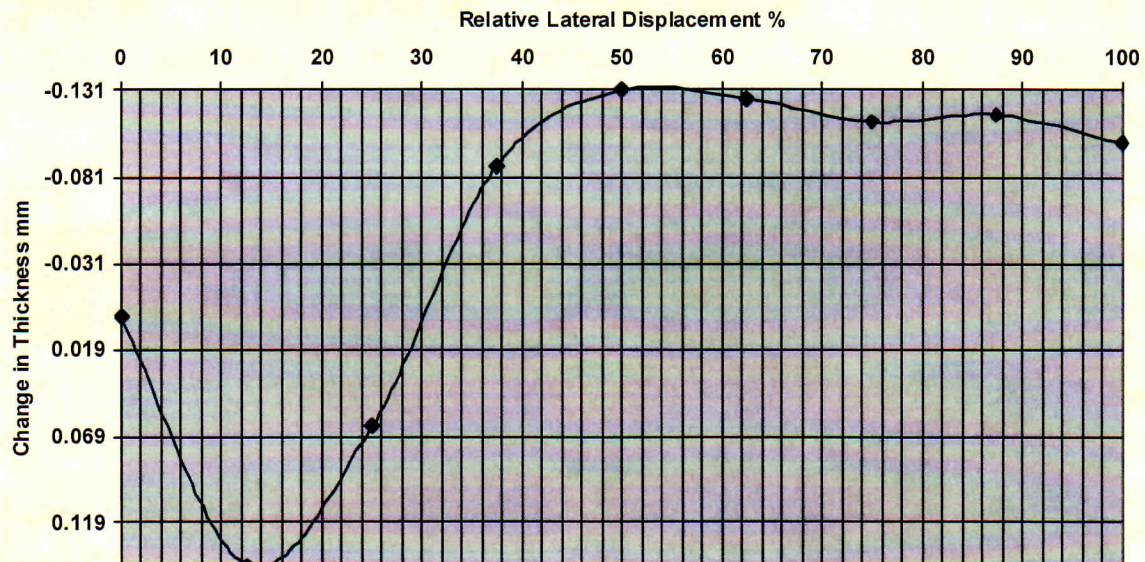


Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira	Job	S 2817
Borehole	Sondeo P5	Sample	9.00 – 9.50m

Shear Stress Vs Displacement



Change in Specimen Thickness Vs Displacement




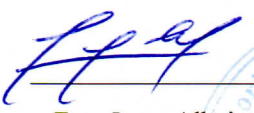
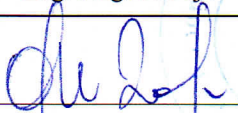
Rate of Horizontal Displacement	Stage 1: 0.0075mm/min
--	-----------------------

Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)



Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira	Job	S 2817
Borehole	Sondeo P5	Sample	9.00 – 9.50m

Conditions at Failure	
Normal Stress	100.0 kPa
Peak Strength	40.6 kPa
Horizontal Deformation	8.392 mm
Residual Stress	0.0 kPa
Vertical Deformation	1.298 mm

Tested By :	 Eduardo Granda
Checked By:	 Eng. Jorge Albuja
Approved By :	 Eng. Guillermo Realpe M.Sc

Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)



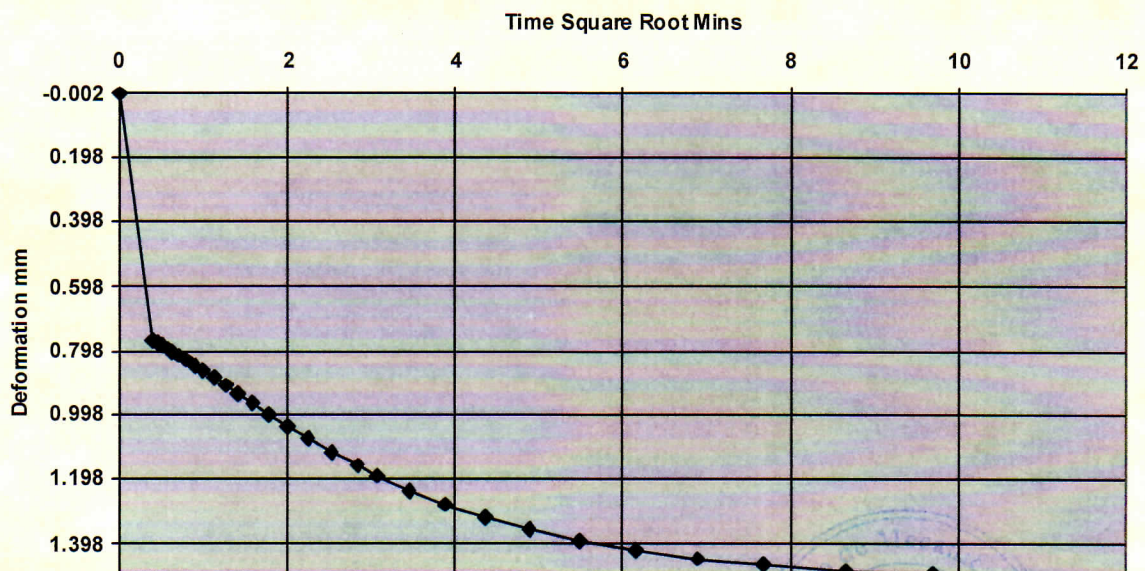
Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira	Job	S 2817
Borehole	Sondeo P5	Sample	9.00 – 9.50m

Test Details			
Standard	ASTM D3080-03 / AASHTO T236-92	Particle Specific Gravity	2.65
Sample Type	Core sample	Single or Multi Stage	Single Stage
Lab. Temperature	20.0 deg.C	Location	
Sample Description	Sondeo P5 – Prof. 9.00 – 9.50m		
Variations from procedure	None		

Specimen Details			
Specimen Reference	B	Description	200 KPa
Depth within Sample	0.00mm	Orientation within Sample	
Initial Height	20.680 mm	Area	3547.98 mm ²
Structure / Preparation		Initial Water Content*	24.60 %
Initial Wet Unit Weight	19.53 kN/m ³	Degree of Saturation	98.99 %
Initial Dry Unit Weight	15.67 kN/m ³	Initial Voids Ratio	0.659
Final Wet Unit Weight	20.32 kN/m ³	Final Water Content	20.16%
Final Dry Unit Weight	16.91 kN/m ³	Dry Mass	117.23 g
Tested Dry or Submerged	Submerged		
Comments			

* Calculated from initial and dry weights of whole specimen

Deformation vs Square Root Time

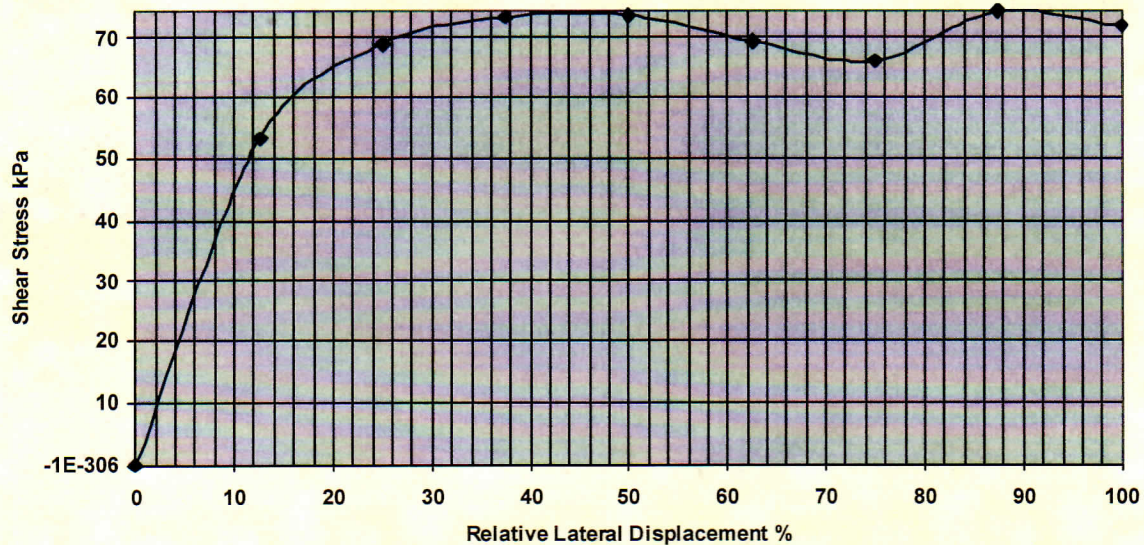


Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)

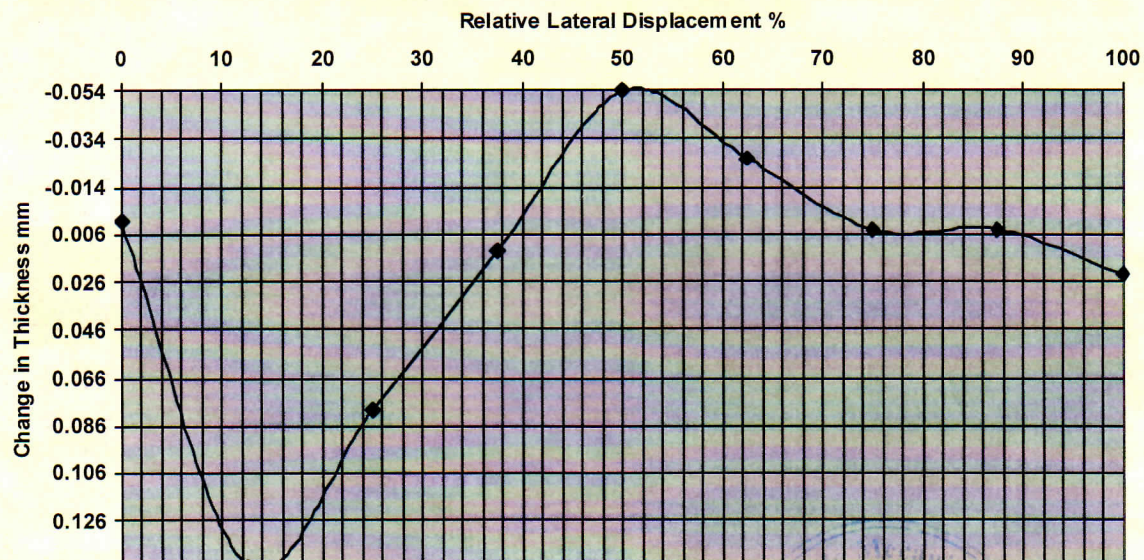


Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira	Job	S 2817
Borehole	Sondeo P5	Sample	9.00 – 9.50m

Shear Stress Vs Displacement



Change in Specimen Thickness Vs Displacement



Rate of Horizontal Displacement	Stage 1: 0.0049mm/min
--	-----------------------

Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)



Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira	Job	S 2817
Borehole	Sondeo P5	Sample	9.00 – 9.50m

Conditions at Failure	
Normal Stress	200.0 kPa
Peak Strength	73.6 kPa
Horizontal Deformation	4.796 mm
Residual Stress	0.0 kPa
Vertical Deformation	1.440 mm

Tested By :	 Eduardo Granda
Checked By:	 Eng. Jorge Albuja
Approved By :	 Eng. Guillermo Realpe M.Sc



Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)



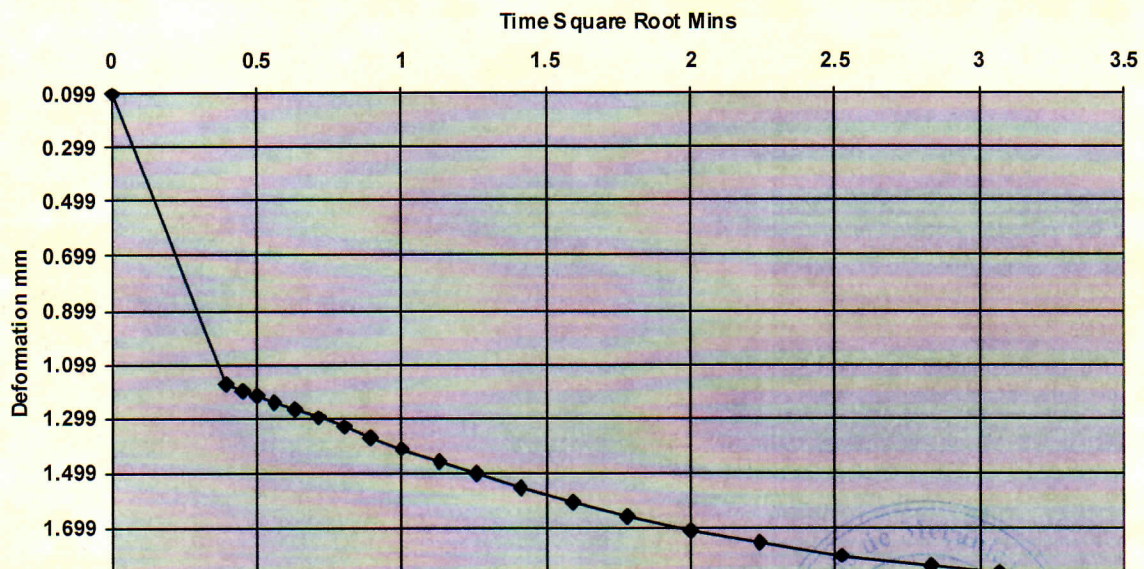
Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira	Job	S 2817
Borehole	Sondeo P5	Sample	9.00 – 9.50m

Test Details			
Standard	ASTM D3080-03 / AASHTO T236-92	Particle Specific Gravity	2.65
Sample Type	Core sample	Single or Multi Stage	Single Stage
Lab. Temperature	20.0 deg.C	Location	
Sample Description	Sondeo P5 – Prof. 9.00 – 9.50m		
Variations from procedure	None		

Specimen Details			
Specimen Reference	C	Description	400 KPa
Depth within Sample	0.00mm	Orientation within Sample	
Initial Height	20.350 mm	Area	3547.98 mm ²
Structure / Preparation		Initial Water Content*	26.73 %
Initial Wet Unit Weight	20.03 kN/m ³	Degree of Saturation	109.85 %
Initial Dry Unit Weight	15.81 kN/m ³	Initial Voids Ratio	0.645
Final Wet Unit Weight	20.69 kN/m ³	Final Water Content	18.31%
Final Dry Unit Weight	17.49 kN/m ³	Dry Mass	116.33 g
Tested Dry or Submerged	Submerged		
Comments			

* Calculated from initial and dry weights of whole specimen

Deformation vs Square Root Time

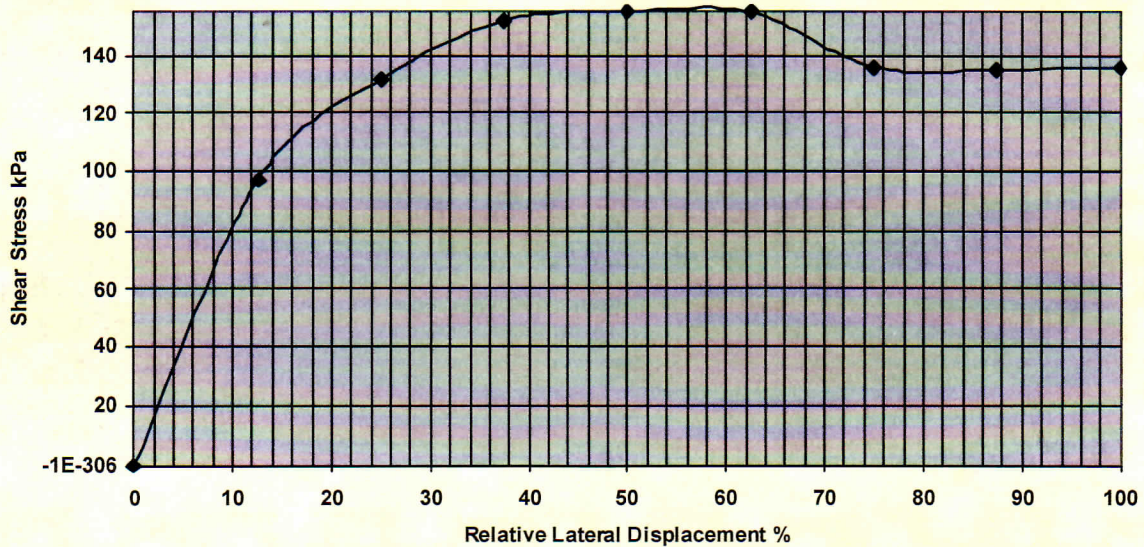


Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)

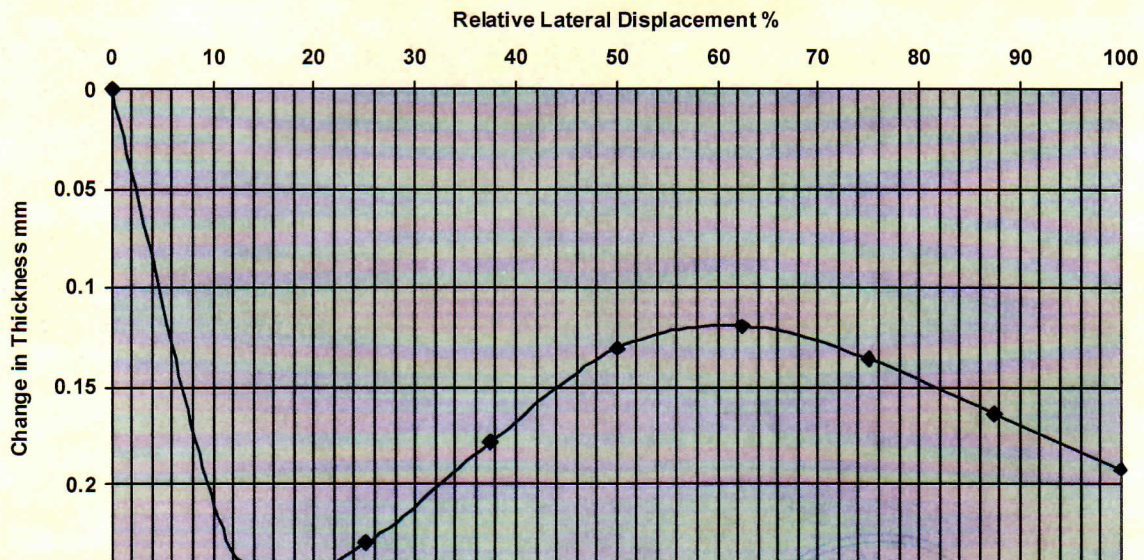


Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira	Job	S 2817
Borehole	Sondeo P5	Sample	9.00 – 9.50m

Shear Stress Vs Displacement



Change in Specimen Thickness Vs Displacement



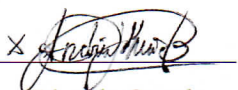
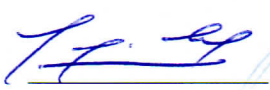
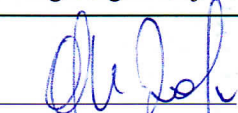
Rate of Horizontal Displacement	Stage 1: 0.0201mm/min
--	-----------------------

Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)



Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira	Job	S 2817
Borehole	Sondeo P5	Sample	9.00 – 9.50m

Conditions at Failure	
Normal Stress	400.0 kPa
Peak Strength	154.8 kPa
Horizontal Deformation	5.994 mm
Residual Stress	0.0 kPa
Vertical Deformation	2.025 mm

Tested By :	 Eduardo Granda
Checked By:	 Eng. Jorge Albuja
Approved By :	 Eng. Guillermo Realpe M.Sc



Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)

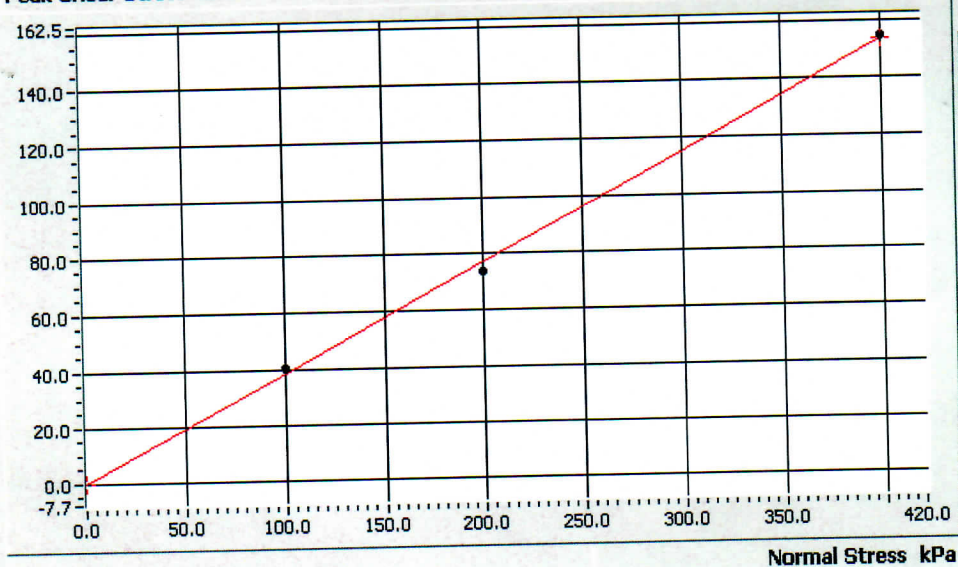


Test Summary

Reference	A	B	C	
Normal Stress	100.0 kPa	200.0 kPa	400.0 kPa	
Peak Strength	40.6 kPa	73.6 kPa	154.8 kPa	
Corresponding Horizontal Displacement	8.392 mm	4.796 mm	5.994 mm	
Residual Stress	N/A	N/A	N/A	
Rate of Shear Displacement	Stage 1: 0.0075mm/min	Stage 1: 0.0049mm/min	Stage 1: 0.0201mm/min	
Final Height	19.15 mm	19.16 mm	18.39 mm	
Sample Area	3547.98 mm ²	3547.98 mm ²	3547.98 mm ²	
Initial Wet Unit Weight	19.69 kN/m ³	19.53 kN/m ³	20.03 kN/m ³	
Initial Dry Unit Weight	16.00 kN/m ³	15.67 kN/m ³	15.81 kN/m ³	
Final Wet Unit Weight	20.43 kN/m ³	20.32 kN/m ³	20.69 kN/m ³	
Final Dry Unit Weight	17.08 kN/m ³	16.91 kN/m ³	17.49 kN/m ³	
Final Moisture Content	19.57 %	20.16 %	18.31 %	
Particle Specific Gravity	2.65	2.65	2.65	
Final Void Ratio	0.5217	0.5370	0.4863	
Final Saturation	99.40%	99.46%	99.78%	

Maximum Shear Stress vs Normal Stress

Peak Shear Stress kPa



Peak ●

Angle of Shear Resistance
 Degrees

Cohesion
 kPa



INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

OBRA : Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira

N° DE RECEPCIÓN : S 2817

LOCALIZACIÓN : Nanegal

SOLICITADO POR : Andrés Velásquez

MUESTRA : Muestra tomada por el Laboratorio

FISCALIZACIÓN : -----

DESCRIPCIÓN : Sondeo P4

CONTRATISTA : -----

NORMA : ASTM D 2216

FECHA INGRESO : 03/02/2015

HOJA: 1/5

FECHA ENTREGA : 06/02/2015

SONDEO: P4

PROFUNDIDAD: 1,00 - 1,50 m

Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. + ss.	% Humedad	% Hum. Promed
18,00	64,17	56,35	20,39	20,39
18,68	63,27	55,72	20,38	

SONDEO: P4

PROFUNDIDAD: 3,00 - 3,50 m

Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. + ss.	% Humedad	% Hum. Promed
16,63	41,66	38,06	16,80	16,35
16,93	54,99	49,77	15,90	

SONDEO: P4

PROFUNDIDAD: 5,00 - 5,50 m

Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. + ss.	% Humedad	% Hum. Promed
18,15	48,33	43,70	18,12	18,43
18,23	49,15	44,27	18,74	

SONDEO: P4

PROFUNDIDAD: 7,00 - 7,50 m

Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. + ss.	% Humedad	% Hum. Promed
16,97	57,04	49,51	23,14	23,09
17,17	58,18	50,50	23,04	

SONDEO: P4

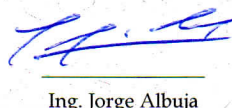
PROFUNDIDAD: 9,00 - 9,50 m

Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. + ss.	% Humedad	% Hum. Promed
16,82	44,02	40,99	12,54	12,52
16,72	34,00	32,08	12,50	

NOTA: Este informe no puede ser reproducido parcialmente


Andrés Muñoz

RESPONSABLE DE ENSAYOS


Ing. Jorge Albuja

RESPONSABLE DEL ÁREA



Ing. Guillermo Realpe M.Sc.

DIRECTOR DEL LABORATORIO



Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)



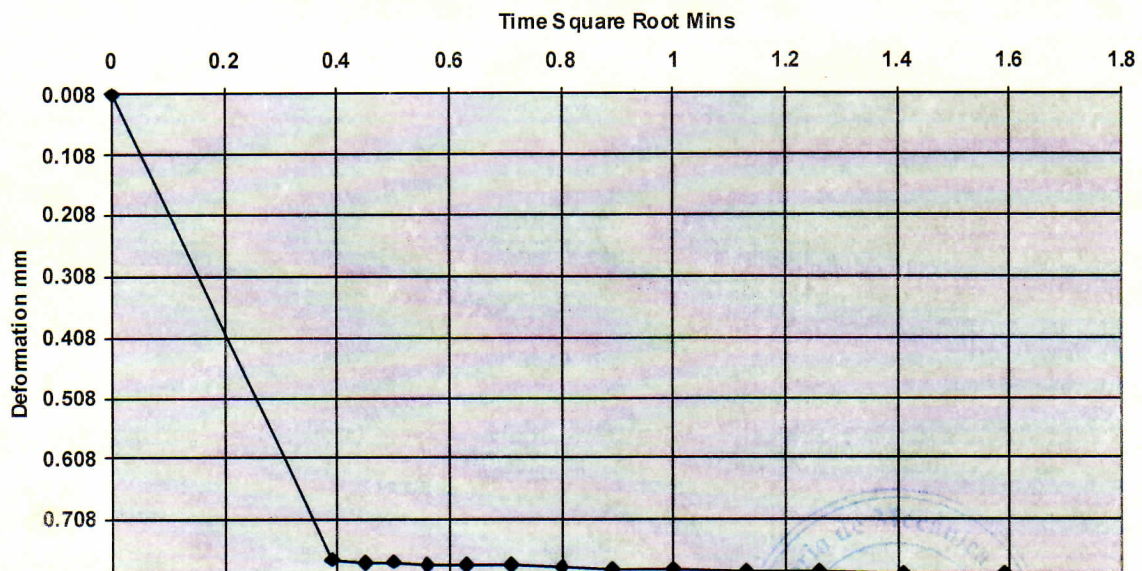
Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira	Job	S 2817
Borehole	Sondeo P4	Sample	4.00 – 4.50m

Test Details			
Standard	ASTM D3080-03 / AASHTO T236-92	Particle Specific Gravity	2.59
Sample Type	Core sample	Single or Multi Stage	Single Stage
Lab. Temperature	20.0 deg.C	Location	
Sample Description	Sondeo P4 – Prof. 4.00 – 4.50		
Variations from procedure	None		

Specimen Details			
Specimen Reference	A	Description	100 KPa
Depth within Sample	0.00mm	Orientation within Sample	
Initial Height	20.070 mm	Area	3547.98 mm ²
Structure / Preparation		Initial Water Content*	14.47 %
Initial Wet Unit Weight	18.35 kN/m ³	Degree of Saturation	64.07 %
Initial Dry Unit Weight	16.03 kN/m ³	Initial Voids Ratio	0.585
Final Wet Unit Weight	20.11 kN/m ³	Final Water Content	19.63%
Final Dry Unit Weight	16.81 kN/m ³	Dry Mass	116.35 g
Tested Dry or Submerged	Submerged		
Comments			

* Calculated from initial and dry weights of whole specimen

Deformation vs Square Root Time

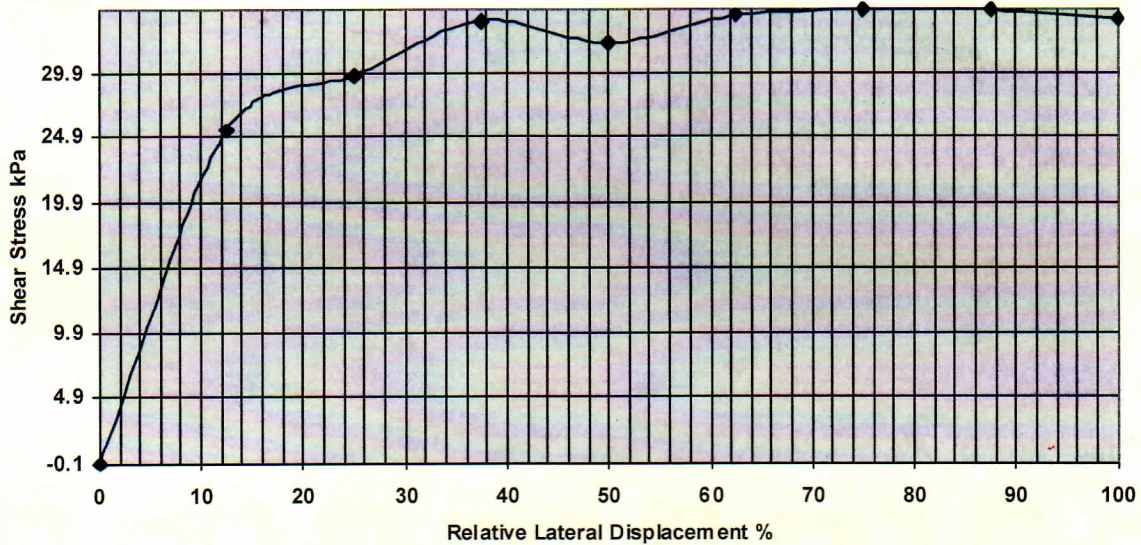


Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)

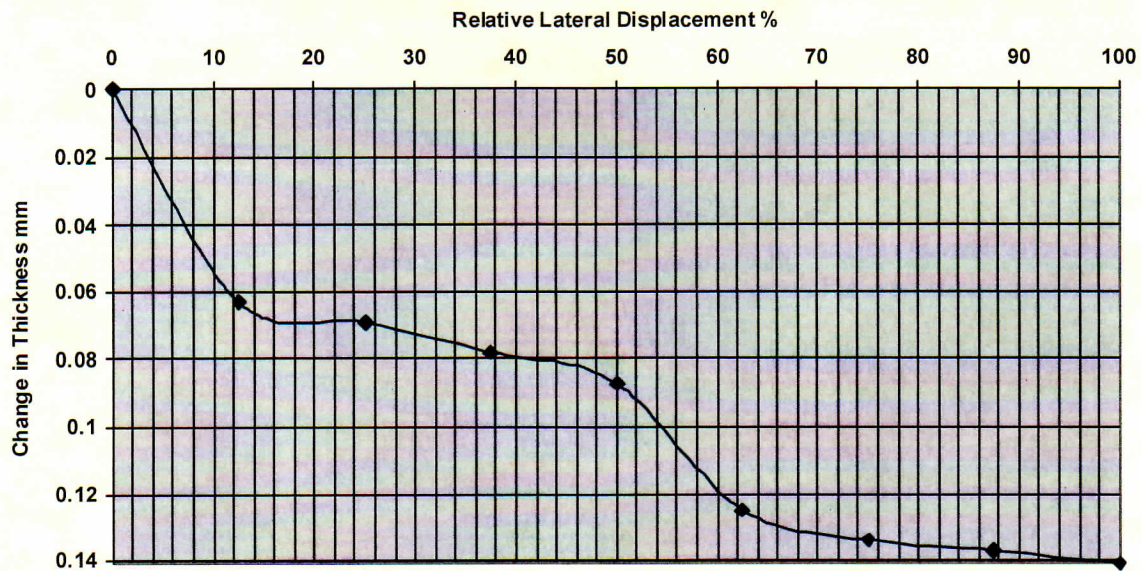


Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira	Job	S 2817
Borehole	Sondeo P4	Sample	4.00 – 4.50m

Shear Stress Vs Displacement



Change in Specimen Thickness Vs Displacement



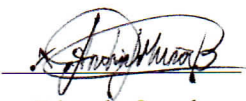
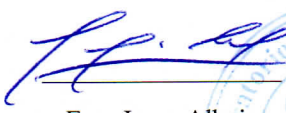
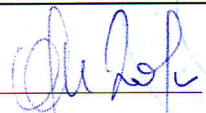
Rate of Horizontal Displacement	Stage 1: 0.0874mm/min
--	-----------------------

Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)



Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira	Job	S 2817
Borehole	Sondeo P4	Sample	4.00 – 4.50m

Conditions at Failure	
Normal Stress	100.0 kPa
Peak Strength	34.7 kPa
Horizontal Deformation	7.193 mm
Residual Stress	0.0 kPa
Vertical Deformation	0.942 mm

Tested By :	 Eduardo Granda
Checked By:	 Eng. Jorge Albuja
Approved By :	 Eng. Guillermo Realpe M.Sc

Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)



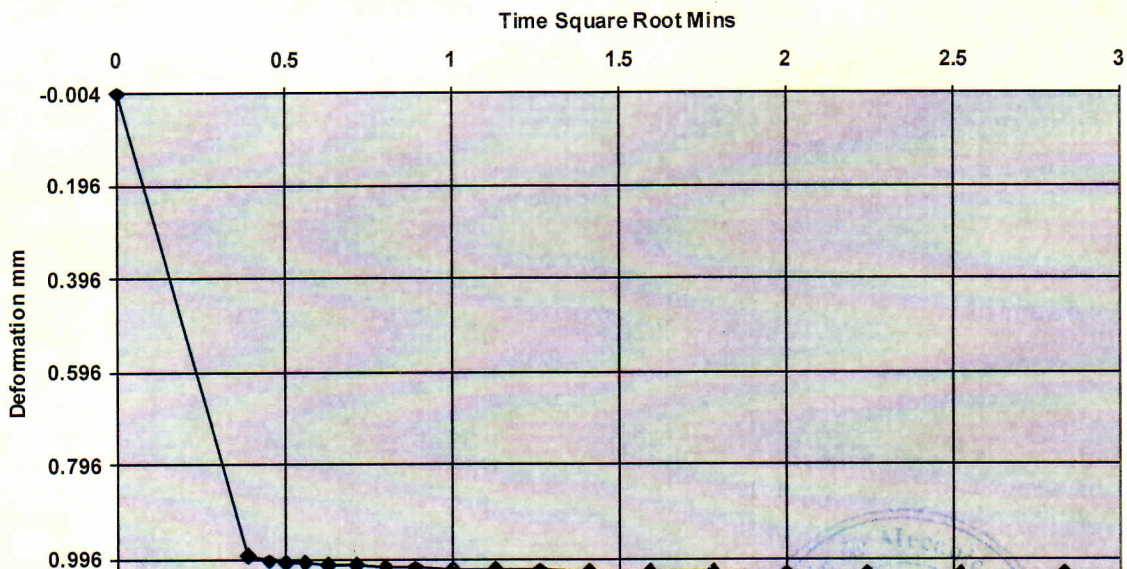
Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira	Job	S 2817
Borehole	Sondeo P4	Sample	4.00 – 4.50m

Test Details			
Standard	ASTM D3080-03 / AASHTO T236-92	Particle Specific Gravity	2.59
Sample Type	Core sample	Single or Multi Stage	Single Stage
Lab. Temperature	20.0 deg.C	Location	
Sample Description	Sondeo P4 – Prof. 4.00 – 4.50		
Variations from procedure	None		

Specimen Details			
Specimen Reference	B	Description	200 kpa
Depth within Sample	0.00mm	Orientation within Sample	
Initial Height	20.080 mm	Area	3547.98 mm ²
Structure / Preparation		Initial Water Content*	20.84 %
Initial Wet Unit Weight	18.92 kN/m ³	Degree of Saturation	86.63 %
Initial Dry Unit Weight	15.65 kN/m ³	Initial Voids Ratio	0.623
Final Wet Unit Weight	20.08 kN/m ³	Final Water Content	19.83%
Final Dry Unit Weight	16.76 kN/m ³	Dry Mass	113.69 g
Tested Dry or Submerged	Submerged		
Comments			

* Calculated from initial and dry weights of whole specimen

Deformation vs Square Root Time

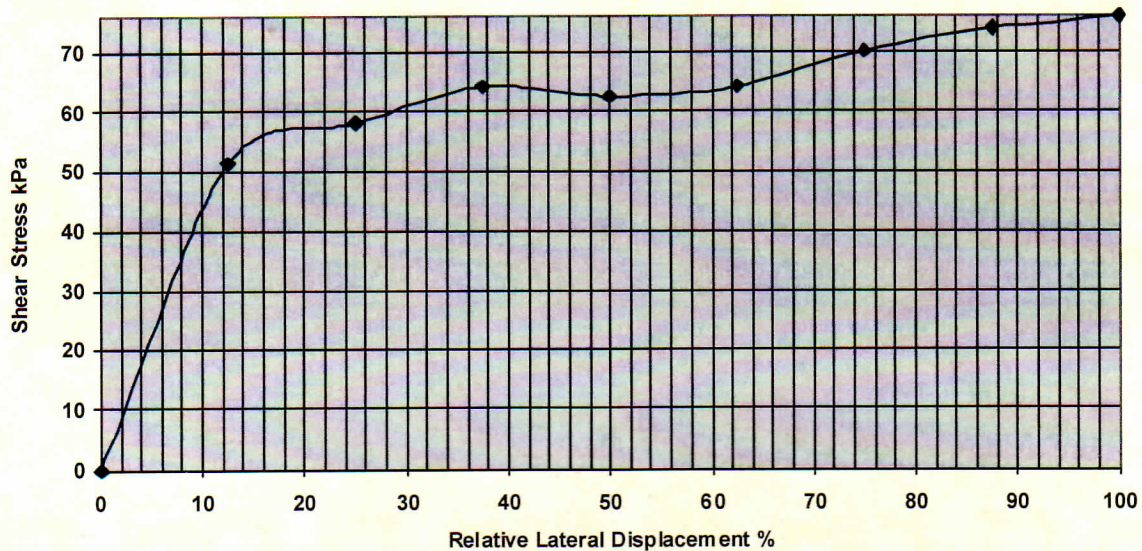


Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)

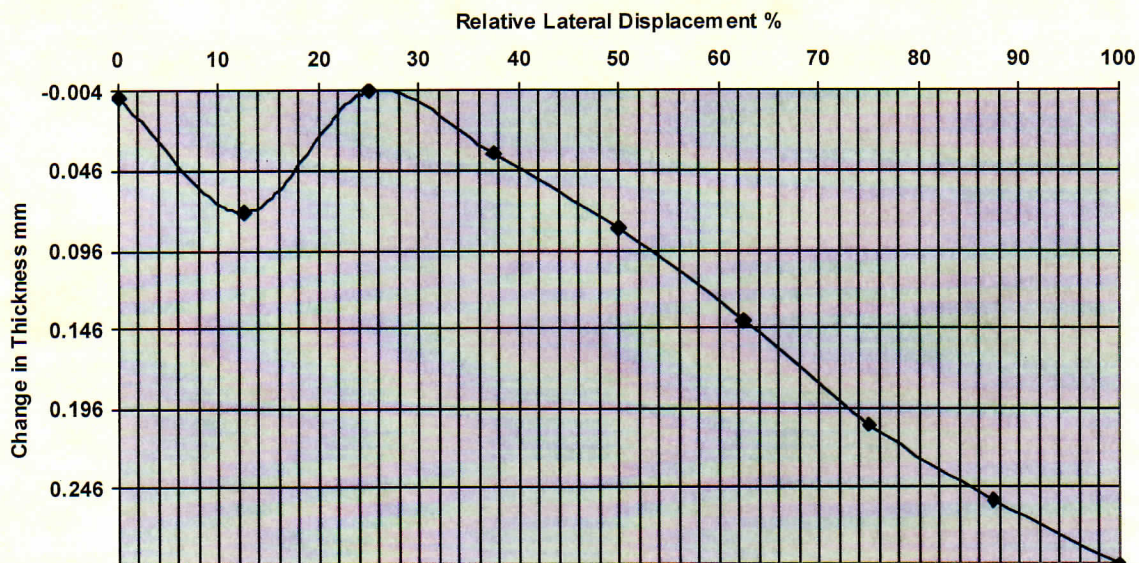


Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira	Job	S 2817
Borehole	Sondeo P4	Sample	4.00 – 4.50m

Shear Stress Vs Displacement



Change in Specimen Thickness Vs Displacement



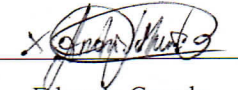
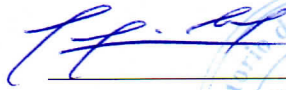
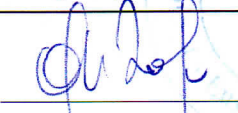
Rate of Horizontal Displacement	Stage 1: 0.1251mm/min
--	-----------------------

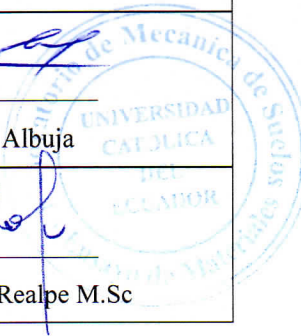
Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)



Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira	Job	S 2817
Borehole	Sondeo P4	Sample	4.00 – 4.50m

Conditions at Failure	
Normal Stress	200.0 kPa
Peak Strength	64.3 kPa
Horizontal Deformation	3.597 mm
Residual Stress	0.0 kPa
Vertical Deformation	1.083 mm

Tested By :	 Eduardo Granda
Checked By:	 Eng. Jorge Albuja
Approved By :	 Eng. Guillermo Realpe M.Sc



Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)



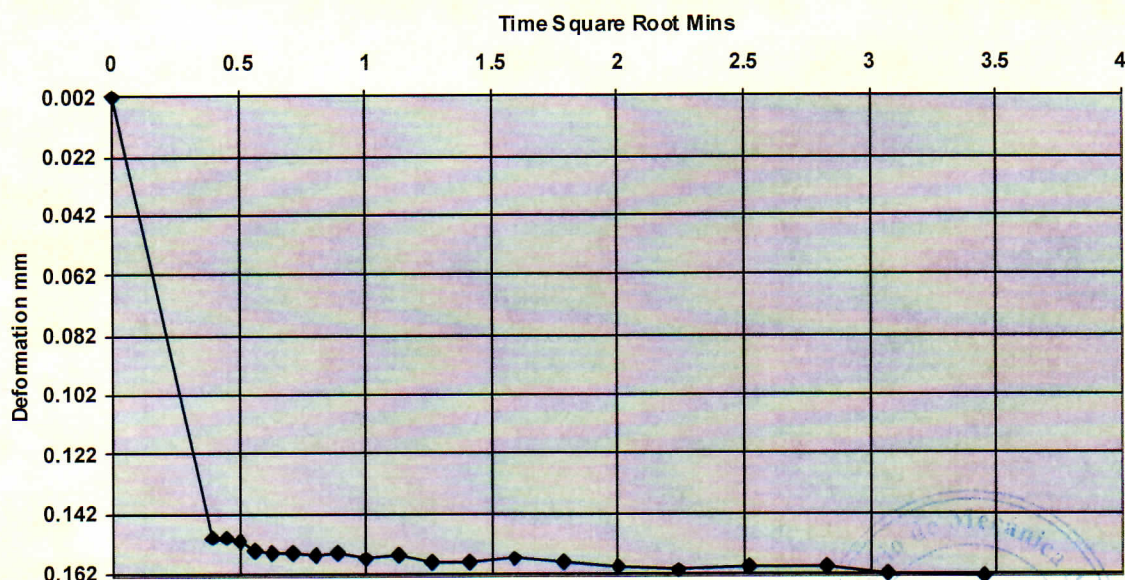
Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira	Job	S 2817
Borehole	Sondeo P4	Sample	4.00 – 4.50m

Test Details			
Standard	ASTM D3080-03 / AASHTO T236-92	Particle Specific Gravity	2.59
Sample Type	Core sample	Single or Multi Stage	Single Stage
Lab. Temperature	20.0 deg.C	Location	
Sample Description	Sondeo P4 – Prof. 4.00 – 4.50		
Variations from procedure	None		

Specimen Details			
Specimen Reference	C	Description	50 KPa
Depth within Sample	0.00mm	Orientation within Sample	
Initial Height	20.140 mm	Area	3547.98 mm ²
Structure / Preparation		Initial Water Content*	16.15 %
Initial Wet Unit Weight	19.06 kN/m ³	Degree of Saturation	76.24 %
Initial Dry Unit Weight	16.41 kN/m ³	Initial Voids Ratio	0.549
Final Wet Unit Weight	19.97 kN/m ³	Final Water Content	20.55%
Final Dry Unit Weight	16.56 kN/m ³	Dry Mass	119.51 g
Tested Dry or Submerged	Submerged		
Comments			

* Calculated from initial and dry weights of whole specimen

Deformation vs Square Root Time

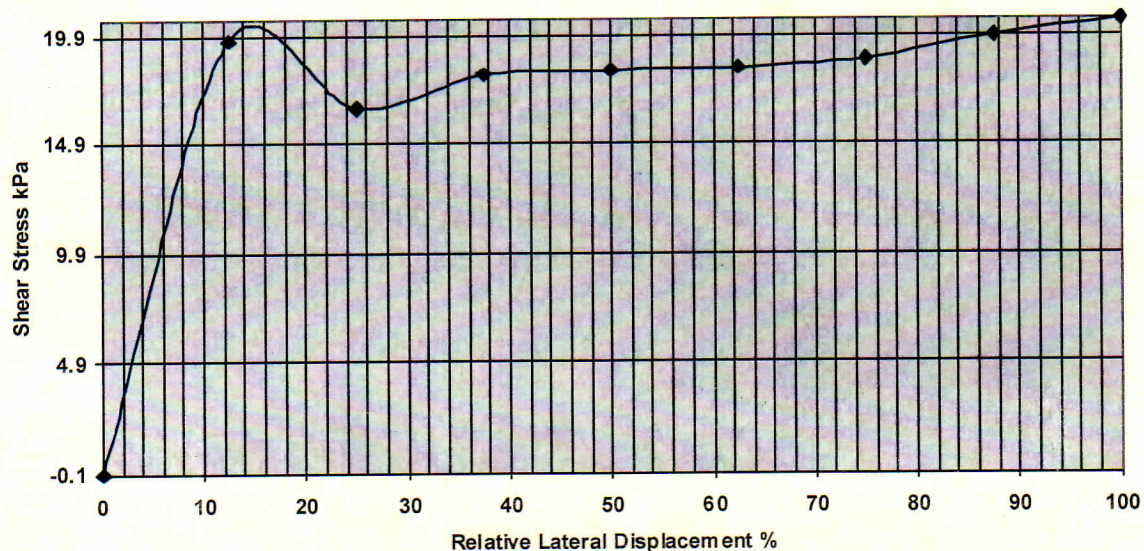


Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)

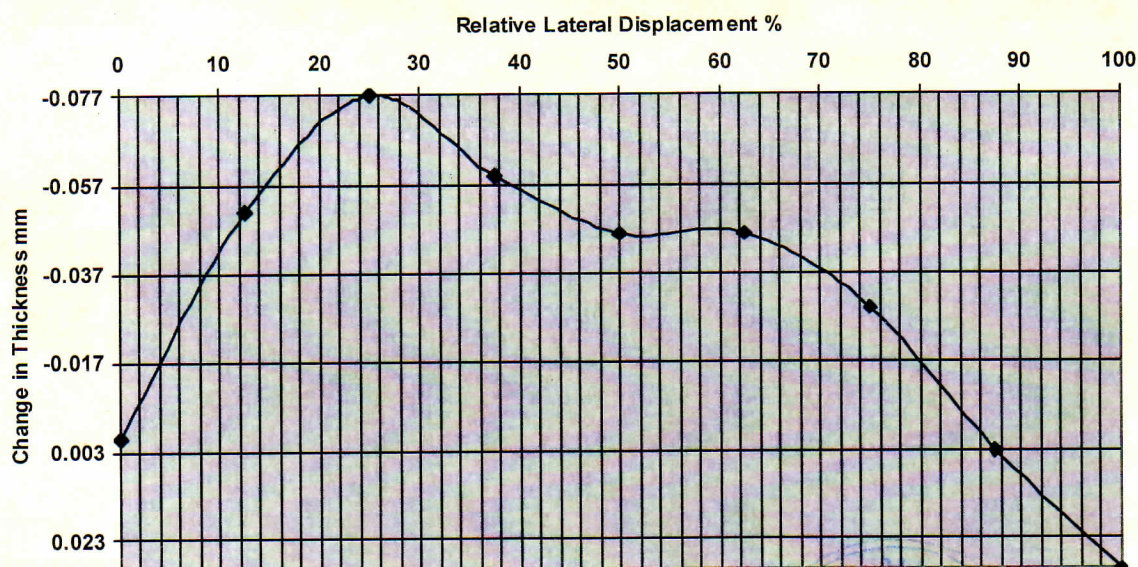


Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira	Job	S 2817
Borehole	Sondeo P4	Sample	4.00 – 4.50m

Shear Stress Vs Displacement



Change in Specimen Thickness Vs Displacement




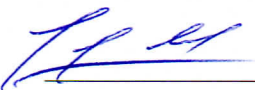
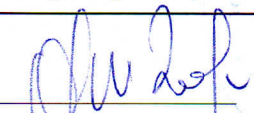
Rate of Horizontal Displacement	Stage 1: 0.0795mm/min
--	-----------------------

Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)



Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira	Job	S 2817
Borehole	Sondeo P4	Sample	4.00 – 4.50m

Conditions at Failure	
Normal Stress	50.0 kPa
Peak Strength	19.7 kPa
Horizontal Deformation	1.199 mm
Residual Stress	0.0 kPa
Vertical Deformation	0.114 mm

Tested By :	 Eduardo Granda
Checked By:	 Eng. Jorge Albuja
Approved By :	 Eng. Guillermo Realpe M.Sc



Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)

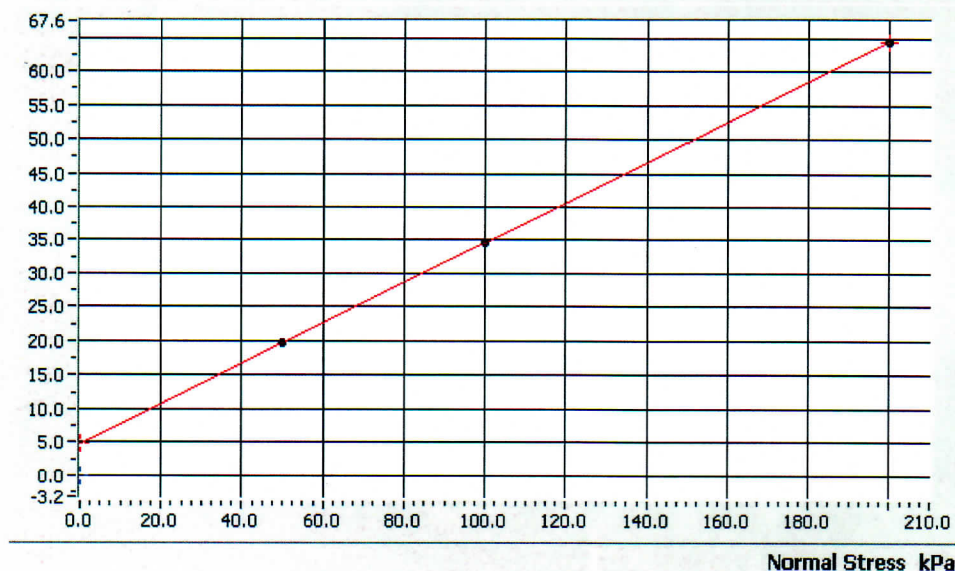


Test Summary

Reference	A	B	C	
Normal Stress	100.0 kPa	200.0 kPa	50.0 kPa	
Peak Strength	34.7 kPa	64.3 kPa	19.7 kPa	
Corresponding Horizontal Displacement	7.193 mm	3.597 mm	1.199 mm	
Residual Stress	N/A	N/A	N/A	
Rate of Shear Displacement	Stage 1: 0.0874mm/min	Stage 1: 0.1251mm/min	Stage 1: 0.0795mm/min	
Final Height	19.14 mm	18.75 mm	19.95 mm	
Sample Area	3547.98 mm ²	3547.98 mm ²	3547.98 mm ²	
Initial Wet Unit Weight	18.35 kN/m ³	18.92 kN/m ³	19.06 kN/m ³	
Initial Dry Unit Weight	16.03 kN/m ³	15.65 kN/m ³	16.41 kN/m ³	
Final Wet Unit Weight	20.11 kN/m ³	20.08 kN/m ³	19.97 kN/m ³	
Final Dry Unit Weight	16.81 kN/m ³	16.76 kN/m ³	16.56 kN/m ³	
Final Moisture Content	19.63 %	19.83 %	20.55 %	
Particle Specific Gravity	2.59	2.59	2.59	
Final Void Ratio	0.5116	0.5159	0.5340	
Final Saturation	99.38%	99.54%	99.68%	

Maximum Shear Stress vs Normal Stress

Peak Shear Stress kPa



Peak ●

Angle of Shear Resistance
16.57 Degrees

Cohesion
4.88 kPa



Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)



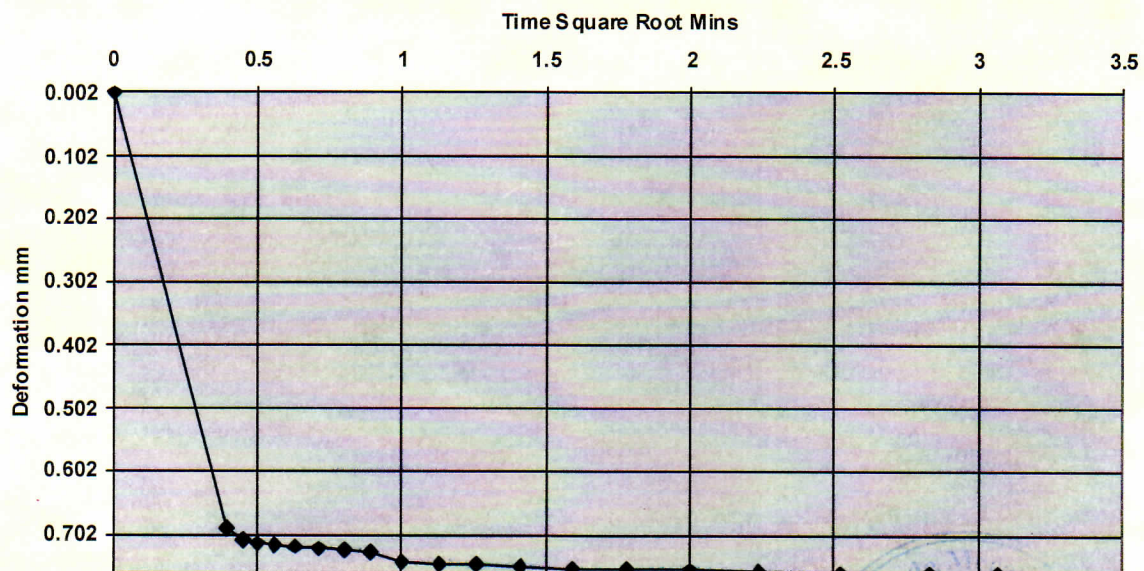
Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira	Job	S 2817
Borehole	Sondeo P4	Sample	9.00 – 9.50m

Test Details			
Standard	ASTM D3080-03 / AASHTO T236-92	Particle Specific Gravity	2.60
Sample Type	Core sample	Single or Multi Stage	Single Stage
Lab. Temperature	20.0 deg.C	Location	
Sample Description	Sondeo P4 – Prof. 9.00 – 9.50 m		
Variations from procedure	None		

Specimen Details			
Specimen Reference	A	Description	100 Kpa
Depth within Sample	0.00mm	Orientation within Sample	
Initial Height	20.010 mm	Area	3547.98 mm ²
Structure / Preparation		Initial Water Content*	16.50 %
Initial Wet Unit Weight	20.21 kN/m ³	Degree of Saturation	91.21 %
Initial Dry Unit Weight	17.35 kN/m ³	Initial Voids Ratio	0.470
Final Wet Unit Weight	20.89 kN/m ³	Final Water Content	15.99%
Final Dry Unit Weight	18.01 kN/m ³	Dry Mass	125.55 g
Tested Dry or Submerged	Submerged		
Comments			

* Calculated from initial and dry weights of whole specimen

Deformation vs Square Root Time

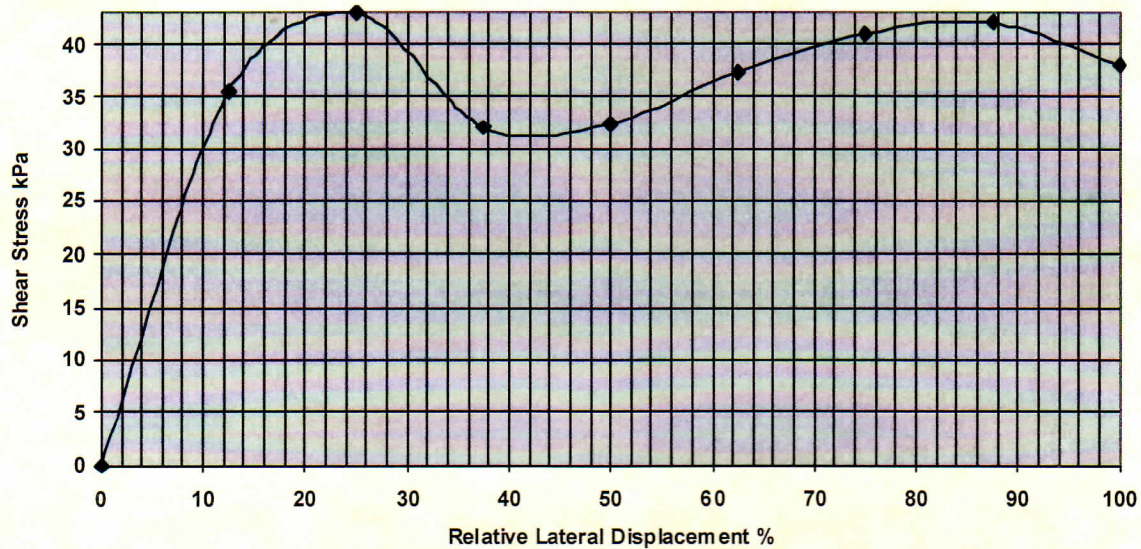


Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)

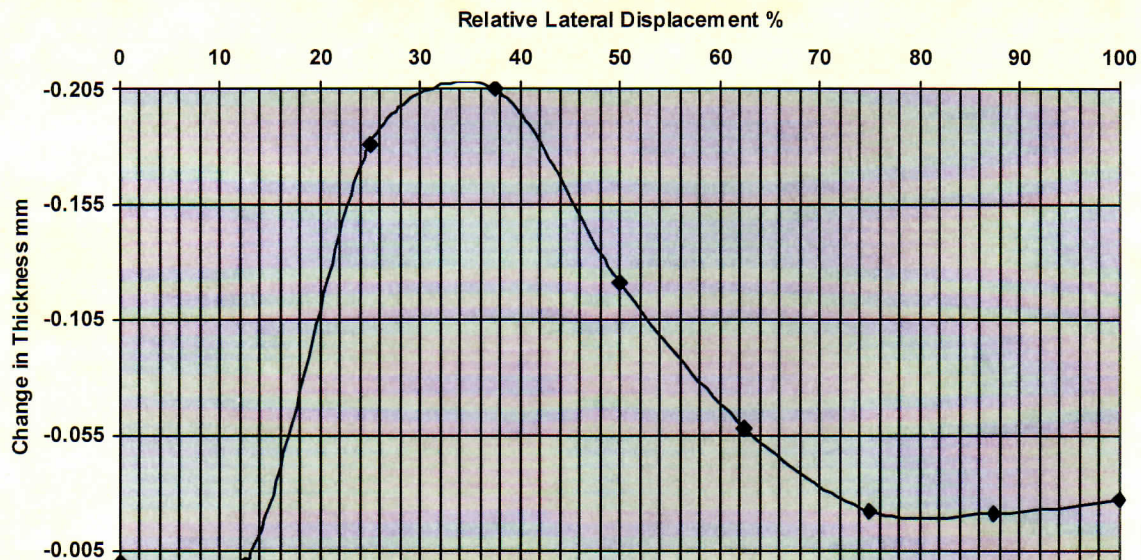


Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira	Job	S 2817
Borehole	Sondeo P4	Sample	9.00 – 9.50m

Shear Stress Vs Displacement



Change in Specimen Thickness Vs Displacement



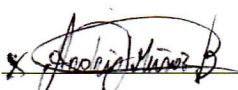
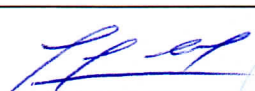
Rate of Horizontal Displacement	Stage 1: 0.1107mm/min
--	-----------------------

Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)



Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira	Job	S 2817
Borehole	Sondeo P4	Sample	9.00 – 9.50m

Conditions at Failure	
Normal Stress	100.0 kPa
Peak Strength	42.9 kPa
Horizontal Deformation	2.398 mm
Residual Stress	0.0 kPa
Vertical Deformation	0.586 mm

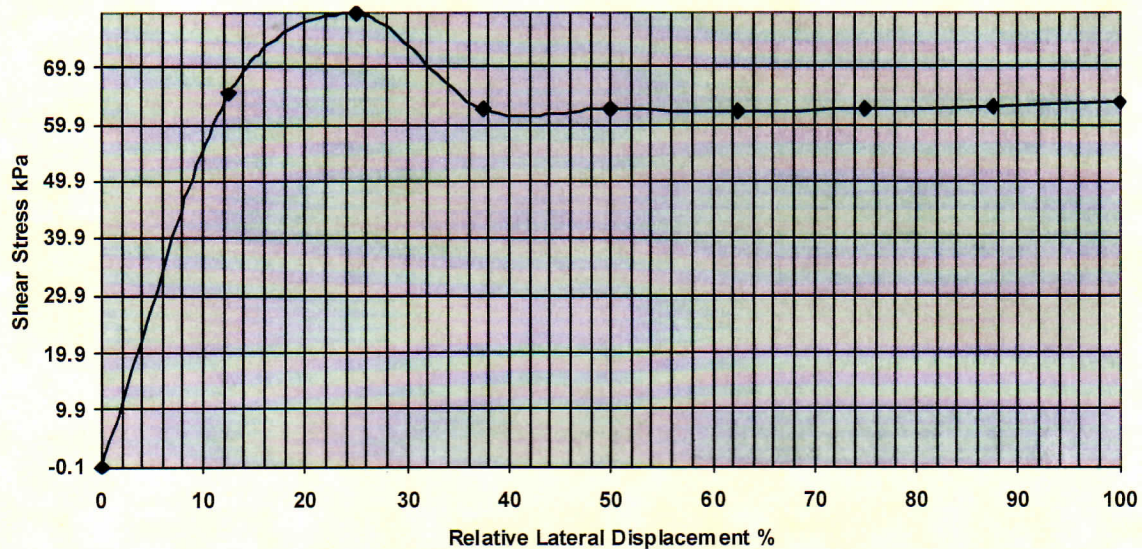
Tested By :	 Eduardo Granda
Checked By:	 Eng. Jorge Albuja
Approved By :	 Eng. Guillermo Realpe M.Sc

Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)

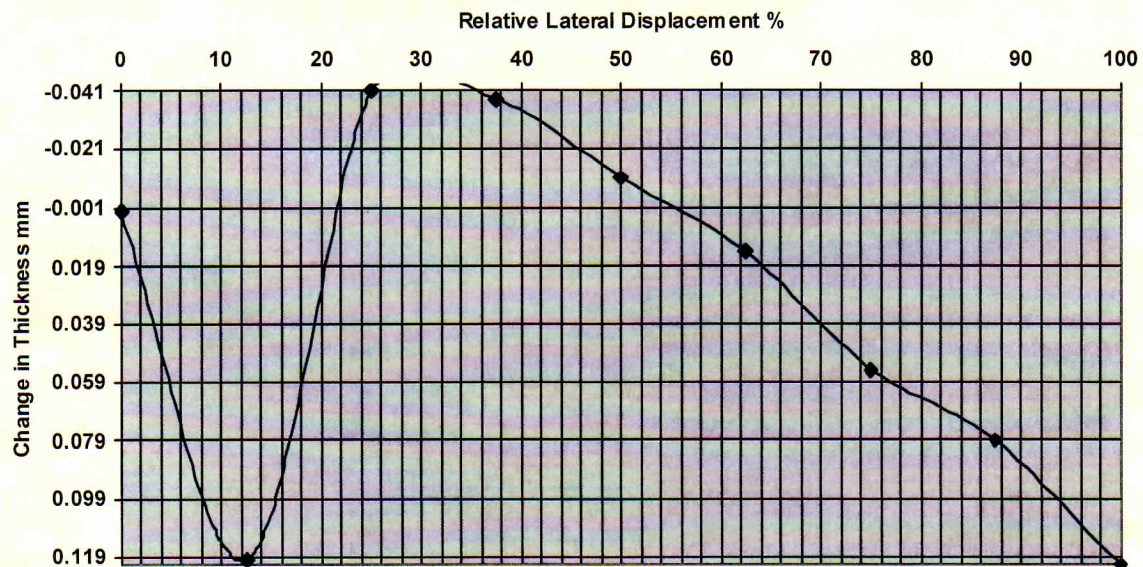


Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira	Job	S 2817
Borehole	Sondeo P4	Sample	9.00 – 9.50m

Shear Stress Vs Displacement



Change in Specimen Thickness Vs Displacement





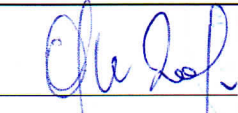
Rate of Horizontal Displacement	Stage 1: 0.0916mm/min
--	-----------------------

Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)



Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira	Job	S 2817
Borehole	Sondeo P4	Sample	9.00 – 9.50m

Conditions at Failure	
Normal Stress	200.0 kPa
Peak Strength	79.1 kPa
Horizontal Deformation	2.398 mm
Residual Stress	0.0 kPa
Vertical Deformation	1.022 mm

Tested By :	 Eduardo Granda
Checked By:	 Eng. Jorge Albuja
Approved By :	 Eng. Guillermo Realpe M.Sc



Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)



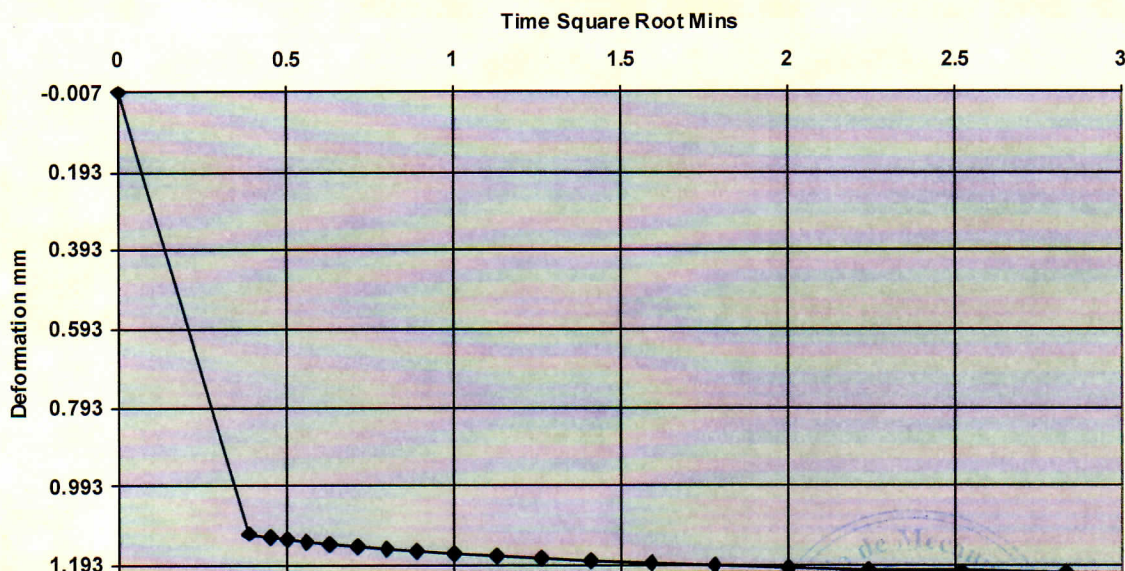
Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira	Job	S 2817
Borehole	Sondeo P4	Sample	9.00 – 9.50m

Test Details			
Standard	ASTM D3080-03 / AASHTO T236-92	Particle Specific Gravity	2.60
Sample Type	Core sample	Single or Multi Stage	Single Stage
Lab. Temperature	20.0 deg.C	Location	
Sample Description	Sondeo P4 – Prof. 9.00 – 9.50 m		
Variations from procedure	None		

Specimen Details			
Specimen Reference	C	Description	400 KPa
Depth within Sample	0.00mm	Orientation within Sample	
Initial Height	20.270 mm	Area	3547.98 mm ²
Structure / Preparation		Initial Water Content*	17.01 %
Initial Wet Unit Weight	21.10 kN/m ³	Degree of Saturation	106.69 %
Initial Dry Unit Weight	18.03 kN/m ³	Initial Voids Ratio	0.415
Final Wet Unit Weight	21.65 kN/m ³	Final Water Content	12.50%
Final Dry Unit Weight	19.25 kN/m ³	Dry Mass	132.18 g
Tested Dry or Submerged	Submerged		
Comments			

* Calculated from initial and dry weights of whole specimen

Deformation vs Square Root Time

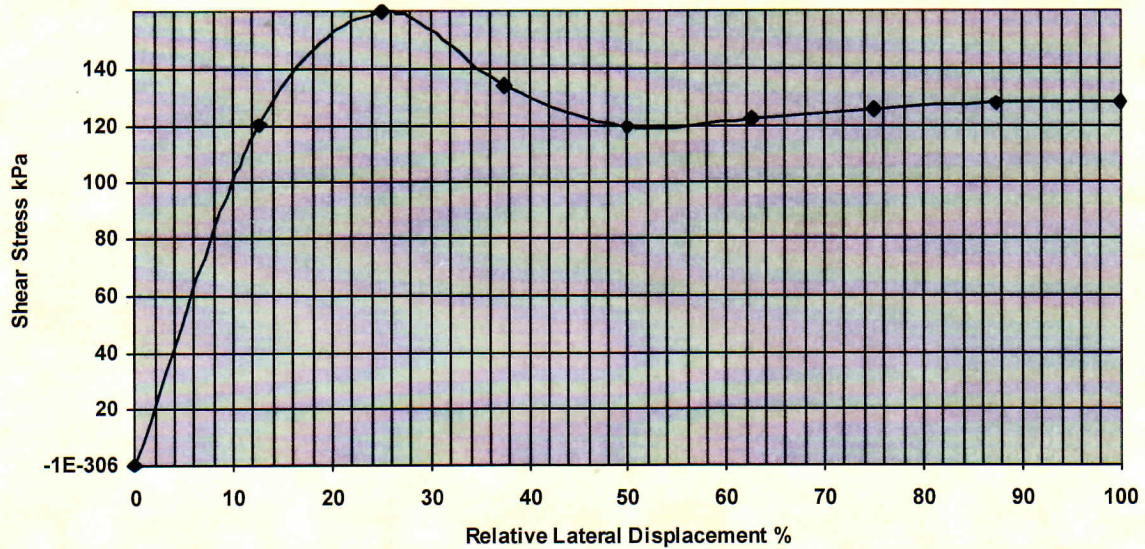


Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)

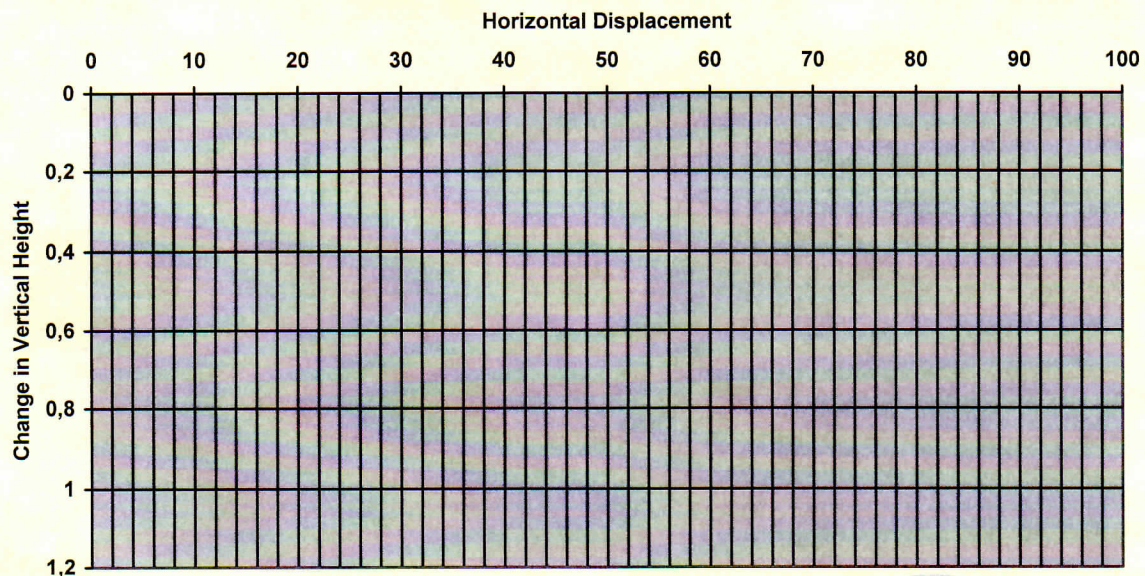


Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira	Job	S 2817
Borehole	Sondeo P4	Sample	9.00 – 9.50m

Shear Stress Vs Displacement



Change in Specimen Thickness Vs Displacement



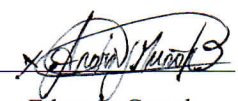
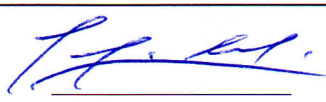
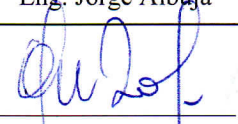
Rate of Horizontal Displacement	Stage 1: 0.1129mm/min
--	-----------------------

Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)



Client	Andrés Velásquez	Lab Ref	
Project	Tesis Proyecto Hidroeléctrico Palmira	Job	S 2817
Borehole	Sondeo P4	Sample	9.00 – 9.50m

Conditions at Failure	
Normal Stress	400.0 kPa
Peak Strength	159.7 kPa
Horizontal Deformation	2.398 mm
Residual Stress	0.0 kPa
Vertical Deformation	1.198 mm

Tested By :	 Eduardo Granda
Checked By:	 Eng. Jorge Albuja
Approved By :	 Eng. Guillermo Realpe M.Sc



Shear Strength by Direct Shear (Small Shear Box)

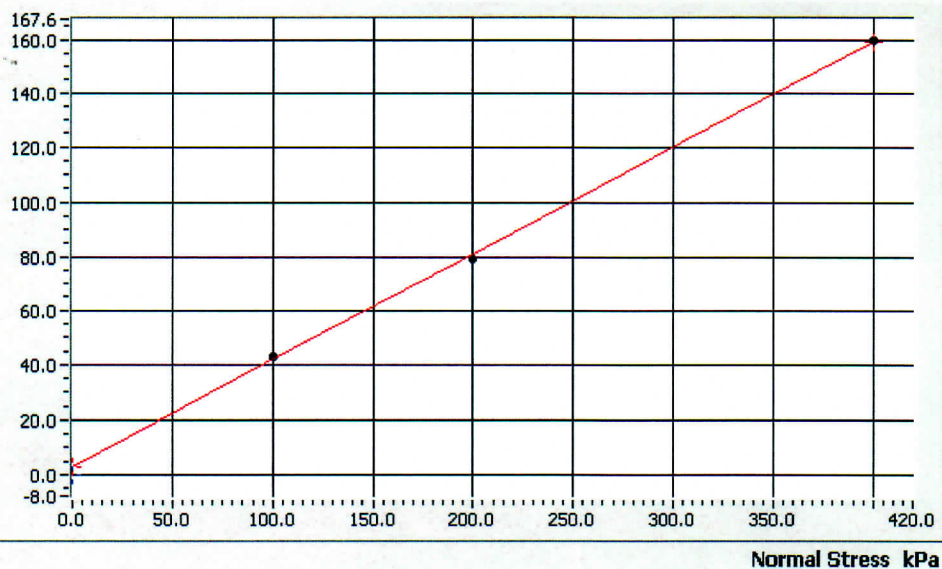


Test Summary

Reference	A	B	C	
Normal Stress	100.0 kPa	200.0 kPa	400.0 kPa	
Peak Strength	42.9 kPa	79.1 kPa	159.7 kPa	
Corresponding Horizontal Displacement	2.398 mm	2.398 mm	2.398 mm	
Residual Stress	N/A	N/A	N/A	
Rate of Shear Displacement	Stage 1: 0.1107mm/min	Stage 1: 0.0916mm/min	Stage 1: 0.1129mm/min	
Final Height	19.28 mm	18.81 mm	18.99 mm	
Sample Area	3547.98 mm ²	3547.98 mm ²	3547.98 mm ²	
Initial Wet Unit Weight	20.21 kN/m ³	20.77 kN/m ³	21.10 kN/m ³	
Initial Dry Unit Weight	17.35 kN/m ³	17.84 kN/m ³	18.03 kN/m ³	
Final Wet Unit Weight	20.89 kN/m ³	21.45 kN/m ³	21.65 kN/m ³	
Final Dry Unit Weight	18.01 kN/m ³	18.96 kN/m ³	19.25 kN/m ³	
Final Moisture Content	15.99 %	13.13 %	12.50 %	
Particle Specific Gravity	2.60	2.60	2.60	
Final Void Ratio	0.4163	0.3450	0.3253	
Final Saturation	99.83%	98.94%	99.89%	

Maximum Shear Stress vs Normal Stress

Peak Shear Stress kPa



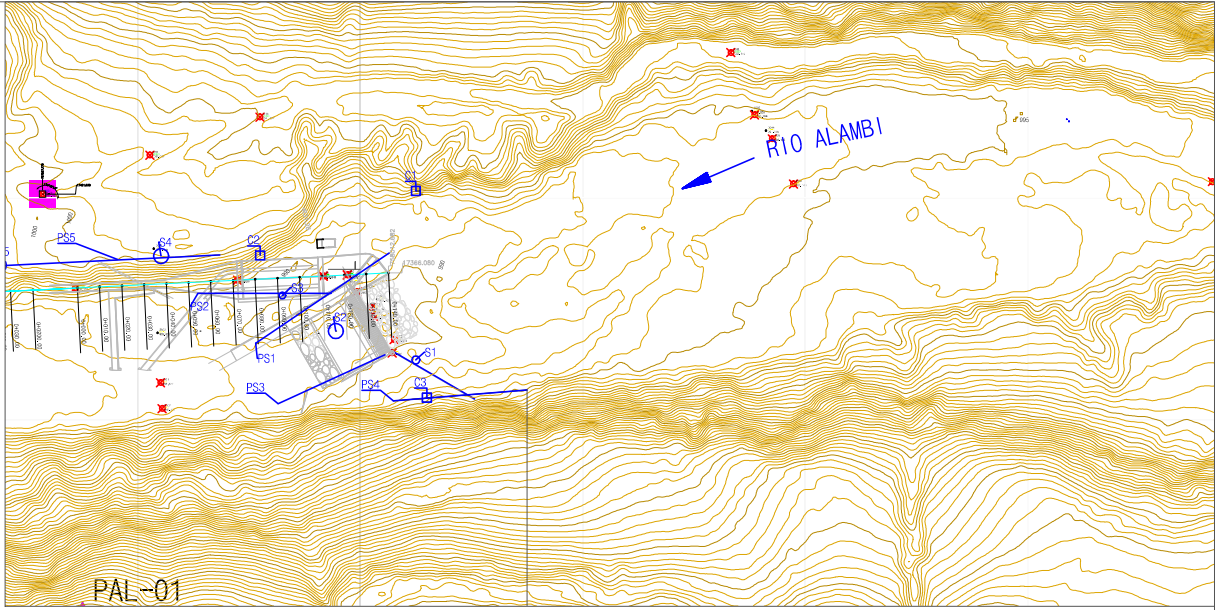
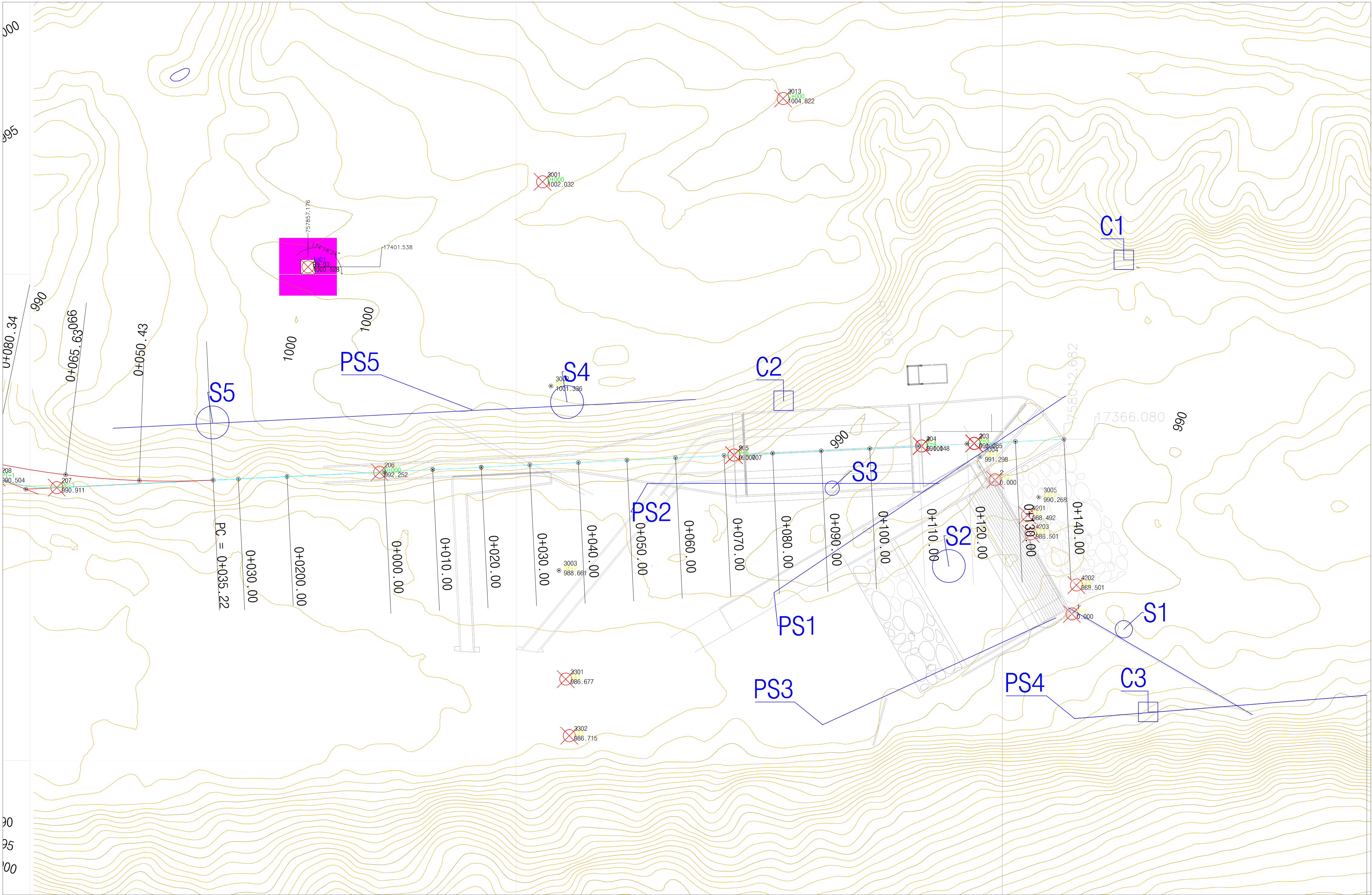
Peak ●

Angle of Shear Resistance
21.36 Degrees

Cohesion
2.67 kPa



**ANEXO VI: IMPLANTACION DE TRABAJOS EN CAMPO EN MAPA
TOPOGRÁFICO**



CONTROL MICRO GEODESICO SHIG-2012

- Base cartográfica LIDAR SHIG 2012 ESCALA 1:5000
- Datum WGS84
- Sistema de coordenadas TM-PALMIRA

Falso norte = 18750.000
Falso este = 757500.000
Meridiano central = 78°41'11.52802'' O
Paralelo central = 00°10'10.19255'' N
Factor de escala = 1.00015145

SIMBOLOGIA

E 756000

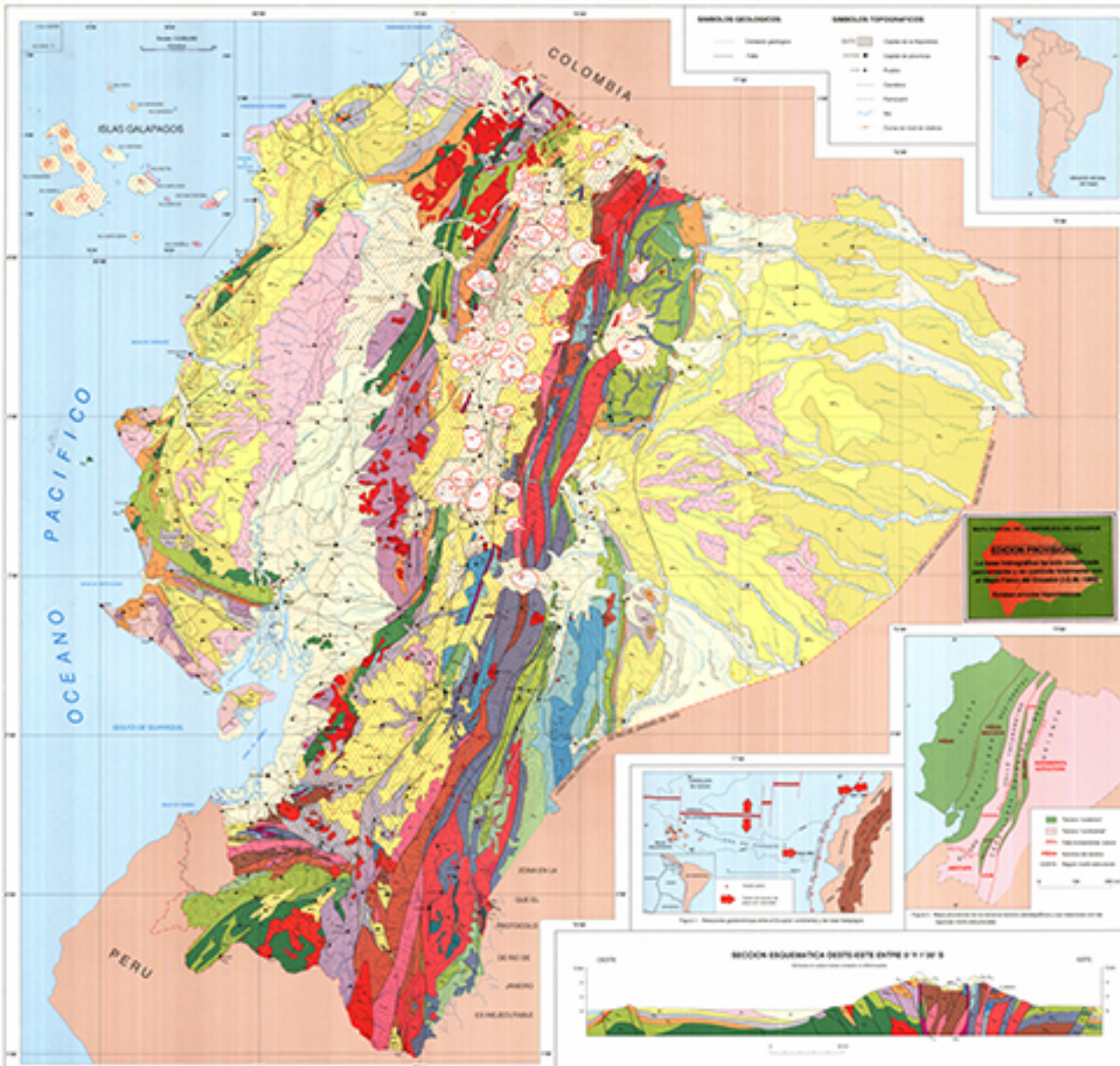
- PAL-# Punto de control GPS
- GPS-# Punto Auxiliar GPS
- BN-X Puntos control vertical
- CHI-02
- Espejos de agua
- AX-10

No.	NOTAS	GEORREFERENCIACION	REVISO
1	Coordenadas	Actualizar la base topográfica de los estudios enlazada a la red HEQ	HEQ
2	Cotas	Realizar la nivelación geométrica enlazada a la placa de nivelación del TSM ubicada en el parque de Nanegal	HEQ
		Diferencia de cotas HIDRONAGAL - HEQ = - 7.72 m	

No.	FECHA	NATURALEZA DE LA REVISION	REV.	APROBO
1				
2				
3				
4				

HIDROEQUINOCCIO EP			
CENTRAL HIDROELÉCTRICA PALMIRA			
CONTIENE: TOPOGRAFIA PALMIRA PROYECTO HORIZONTAL			
REVISO:	APROBADO: GERENCIA TECNICA HEQ EP		
DISEÑO:	FECHA:	ASBTO: TOPOGRAFIA PALMIRA	
DIBUJANTE: M. Z.	ESCALAS: INDICADAS	1:5000	LIBRO: T-2

ANEXO VII: MAPA GEOLÓGICO DEL ECUADOR



MAPA GEOLOGICO DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR

Escala 1:1,000,000
Proyecto N.º 1-1980-000

Elaborado por el Instituto Geológico y Minero del Ecuador
Buenos Aires, Argentina, 1980

COMISIONES
Geología: [Logo]
Minería: [Logo]
Hidrografía: [Logo]
Topografía: [Logo]
Cartografía: [Logo]

COLABORADORES
Geología: [List of names]
Minería: [List of names]
Hidrografía: [List of names]
Topografía: [List of names]
Cartografía: [List of names]

FECHA DE ELABORACION
1980

FECHA DE ACTUALIZACION
1980

FECHA DE IMPRESION
1980

FECHA DE DISTRIBUCION
1980

FECHA DE RECUPERACION
1980

FECHA DE DESTRUCCION
1980

FECHA DE RECONSTRUCCION
1980

FECHA DE RECONSTRUCCION
1980

FECHA DE RECONSTRUCCION
1980

FECHA DE RECONSTRUCCION
1980

FECHA DE RECONSTRUCCION
1980

FECHA DE RECONSTRUCCION
1980

FECHA DE RECONSTRUCCION
1980

FECHA DE RECONSTRUCCION
1980

FECHA DE RECONSTRUCCION
1980

FECHA DE RECONSTRUCCION
1980

FECHA DE RECONSTRUCCION
1980

FECHA DE RECONSTRUCCION
1980

FECHA DE RECONSTRUCCION
1980

FECHA DE RECONSTRUCCION
1980

FECHA DE RECONSTRUCCION
1980

FECHA DE RECONSTRUCCION
1980

FECHA DE RECONSTRUCCION
1980

FECHA DE RECONSTRUCCION
1980

LEYENDA ESTRATIGRAFICA



NOTAS

1. Este mapa geológico fue elaborado a partir de los datos geológicos recopilados por el Instituto Geológico y Minero del Ecuador, durante los años 1970 y 1980.

2. El mapa muestra la distribución de las unidades geológicas en Ecuador, con sus respectivos símbolos y colores.

3. Las unidades geológicas están clasificadas en función de su edad y tipo de roca.

4. El mapa incluye una leyenda estratigráfica que detalla las unidades geológicas y sus edades.

5. El mapa también incluye una leyenda topográfica que detalla los símbolos y colores utilizados para representar las características topográficas.

6. El mapa fue elaborado por el Instituto Geológico y Minero del Ecuador, en el año 1980.

7. El mapa tiene una escala de 1:1,000,000.

8. El mapa fue distribuido por el Instituto Geológico y Minero del Ecuador, en el año 1980.

9. El mapa fue recuperado por el Instituto Geológico y Minero del Ecuador, en el año 1980.

10. El mapa fue destruido por el Instituto Geológico y Minero del Ecuador, en el año 1980.

11. El mapa fue reconstruido por el Instituto Geológico y Minero del Ecuador, en el año 1980.

12. El mapa fue reconstruido por el Instituto Geológico y Minero del Ecuador, en el año 1980.

13. El mapa fue reconstruido por el Instituto Geológico y Minero del Ecuador, en el año 1980.

14. El mapa fue reconstruido por el Instituto Geológico y Minero del Ecuador, en el año 1980.

15. El mapa fue reconstruido por el Instituto Geológico y Minero del Ecuador, en el año 1980.

16. El mapa fue reconstruido por el Instituto Geológico y Minero del Ecuador, en el año 1980.

17. El mapa fue reconstruido por el Instituto Geológico y Minero del Ecuador, en el año 1980.

18. El mapa fue reconstruido por el Instituto Geológico y Minero del Ecuador, en el año 1980.

19. El mapa fue reconstruido por el Instituto Geológico y Minero del Ecuador, en el año 1980.

20. El mapa fue reconstruido por el Instituto Geológico y Minero del Ecuador, en el año 1980.

ANEXO VIII: FOTOGRAFICO

GENERAL



SONDEOS



CALICATAS



